TUGAS AKHIR – MN 141581

DESAIN *DUAL FUEL LNG CARRIER* SEBAGAI SARANA DISTIRIBUSI *LNG* DI PERAIRAN KEPULAUAN RIAU

Arie Julianto
NRP 4113100065

Dosen Pembimbing
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

TUGAS AKHIR – MN 141581

DESAIN *DUAL FUEL LNG CARRIER* SEBAGAI SARANA DISTRIBUSI *LNG* DI PERAIRAN KEPULAUAN RIAU

Arie Julianto
NRP 4113100065

Dosen Pembimbing
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

FINAL PROJECT – MN 141581

DESIGN OF DUAL FUEL LNG CARRIER AS MEANS OF LNG DISTRIBUTION IN RIAU ISLANDS WATERWAY

Arie Julianto
NRP 4113100065

Supervisor
Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN *DUAL FUEL LNG CARRIER* SEBAGAI SARANA DISTRIBUSI *LNG* DI PERAIRAN KEPULAUAN RIAU

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARIE JULIANTO
NRP 4113100065

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Dosen Pembimbing

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.
NIP 19681212 199402 2 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Teknik Perkapalan

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., Ph.D.
NIP 19640210 198903 1 001

SURABAYA, 18 JULI 2017

LEMBAR REVISI

DESAIN *DUAL FUEL LNG CARRIER* SEBAGAI SARANA DISTRIBUSI *LNG* DI PERAIRAN KEPULAUAN RIAU

TUGAS AKHIR
Telah direvisi sesuai dengan hasil Ujian Tugas Akhir
Tanggal 6 Juli 2017

Bidang Keahlian Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal
Program Sarjana Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ARIE JULIANTO
NRP 4113100065

Disetujui oleh Tim Penguji Ujian Tugas Akhir:

1. Dony Setyawan, S.T., M.Eng. .....
2. Ahmad Nasirudin, S.T., M.Eng. .....
3. Dedi Budi Purwanto, S.T., M.T. .....

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc. .....

SURABAYA, 18 JULI 2017

Dipersembahkan untuk Tuhan, bangsa, almamater dan keluarga

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunianya Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pada kesempatan ini Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu penyelesaian Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan dan motivasinya selama pengerjaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc., selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan dan juga Dosen Wali Penulis;
3. Hasanudin, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Desain Kapal Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS atas bantuannya selama pengerjaan Tugas Akhir ini dan atas ijin pemakaian fasilitas laboratorium;
4. Ardi Nugroho, S.T., M.T., dosen Departemen Teknik Perkapalan yang telah memberi kritik dan saran dalam pengerjaan Tugas Akhir ini;
5. Keluarga Penulis, Papa, Mama, mas Andri, abang Agano dan Alvin yang telah menjadi motivasi dan doa dalam melakukan setiap pekerjaan;
6. Sharah Zerzia yang selalu memberi semangat dan motivasi saat suka maupun duka;
7. Teman-teman seperantauan, Eric, Nanta, Juan, Yoe, Moris yang telah bersama-sama berjuang di Kota Pahlawan;
8. Pepe, Sena, Bayu, Tusan, Artha, Kevin, Titin, Indra dan Mas Suto selaku teman-teman seperjuangan bimbingan Tugas Akhir;
9. Azam dan Fajar yang telah banyak membantu dalam pemodelan tiga dimensi kapal pada Tugas Akhir ini;
10. Dan semua pihak yang telah banyak membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DESAIN *DUAL FUEL LNG CARRIER* SEBAGAI SARANA DISTRIBUSI *LNG* DI PERAIRAN KEPULAUAN RIAU

Nama Mahasiswa	:	Arie Julianto
NRP	:	4113100065
Departemen / Fakultas	:	Teknik Perkapalan / Teknologi Kelautan
Dosen Pembimbing	:	Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

ABSTRAK

Kepulauan Riau (Kepri) merupakan salah satu provinsi kepulauan yang mempunyai sumber gas alam terbesar di Indonesia. Di salah satu pulau di provinsi ini, yaitu pulau Natuna akan dibangun Kilang Gas Alam Cair (*Liquefied Natural Gas Plant* atau *LNG Plant*) dengan perkiraan sumber gas alam terbesar di dunia. Gas alam ini akan didistribusikan ke seluruh konsumen baik domestik maupun internasional, mengingat kebutuhan gas yang semakin meningkat di era modern ini. Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan solusi untuk menciptakan sebuah sarana distribusi gas alam cair sebagai penunjang kebutuhan gas di Indonesia, khususnya di provinsi Kepri sendiri. *Payload* dari kapal ini merupakan kebutuhan gas alam cair yang digunakan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) yang ada di provinsi Kepri. Ukuran utama kapal ditentukan dengan penyesuaian jumlah dan ukuran tangki *LNG* yang digunakan berdasarkan kebutuhan *LNG* itu sendiri (*billion British thermal units* atau *bBtu*). Kapal yang dirancang menggunakan sistem permesinan berbahan bakar ganda atau *dual fuel engine* yang berbahan bakar *LNG* dan *Marine Fuel* (*MDO*). Setelah itu dilakukan perhitungan teknis berupa perhitungan berat, *displacement*, *trim*, *freeboard*, dan stabilitas. Ukuran utama yang didapatkan adalah Lpp = 96 m; B = 14 m; H = 6 m; T = 3,5 m. Tinggi *freeboard* minimum sebesar 947 mm, besarnya tonase kotor kapal adalah 3610,95 GT dan kondisi stabilitas *Dual Fuel LNG Carrier* memenuhi kriteria *Intact Stability (IS) Code* Reg. III/3.1. Analisis ekonomis yang dilakukan adalah memperhitungkan biaya pembangunan (investasi), biaya operasional, serta estimasi *Break-Even Point* (BEP). Biaya pembangunan *Dual Fuel LNG Carrier* ini sebesar Rp 162.302.693.118 dan estimasi BEP pada bulan ke-56 dengan estimasi pengambilan keuntungan bersih sebesar Rp 2.921.154.559.

Kata kunci: *dual fuel, gas alam Natuna, Kepulauan Riau, LNG carrier, LNG, MDO*.

DESIGN OF DUAL FUEL LNG CARRIER AS MEANS OF LNG DISTRIBUTION IN RIAU ISLANDS WATERWAY

Author	: Arie Julianto
ID No.	: 4113100065
Dept. / Faculty	: Naval Architecture / Marine Technology
Supervisor	: Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.

ABSTRACT

Riau Islands is a province which has the biggest gas reservoir in Indonesia. A Gas Refinery (Liquefied Natural Gas Plant) is going to be built in one of the islands, named Natuna, which has the highest estimated natural gas reserve in the world. This gas will be distributed to domestic and international consumers, given the increasing gas needs in this modern era. This Final Project is intended to provide solution to create means of distribution of liquefied natural gas (LNG) to support gas needs in Indonesia, especially in Riau Islands itself. The payload of this ship is the need of LNG that is used as fuel by Gas Engine Power Plant (PLTMG) in Riau Islands. The ship's main dimensions are determined by the adjustment of the amount of LNG tank(s) that are going to be used prior to the need of natural gas per day for each PLTMG (billion British thermal units/bBtu). The ship's propulsion is designed to use dual fuel engine system that is fueled by LNG and Marine Fuel (MDO). Further calculations; (1) Technical calculation and analysis such as calculation of weight, displacement, trim, freeboard, and stability. The final ship's main dimensions are Lpp = 96 m; B = 14 m; D = 6 m ; T = 3.5 m. Minimum freeboard height is 947 mm. The ship's tonnage is 3610,95 GT and has passed Intact Stability (IS) Code Reg. III/3.1 criterias. (2) Economic calculation and analysis such as building cost, operational cost and Break-Even Point (BEP) estimation. The building cost is estimated at Rp 162.302.693.118 and BEP within 56 months with estimated revenue at Rp 2.921.154.559.

Keywords: dual fuel, LNG carrier, LNG, MDO, Natuna's natural gas, Riau Islands.

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I
PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Kepulauan Riau merupakan salah satu provinsi kepulauan terbesar di Indonesia. Dengan ibukota Tanjung Pinang, provinsi Kepulauan Riau memiliki banyak Sumber Daya, mulai dari pantai sebagai tempat wisata hingga pusat perbelanjaan modern. Natuna, salah satu kabupaten di provinsi Kepulauan Riau merupakan pulau penghasil gas dan minyak terbesar di provinsi ini. Lapangan gas Natuna yang ditemukan pada tahun 1973, terletak di laut Natuna kira-kira 225 km sebelah timur laut dari Pulau Natuna pada kedalaman laut 145 meter. Sumber gas di Natuna merupakan salah satu sumber gas terbesar di dunia, ditinjau dari sudut volume gas yang ada di tempat maupun sudut volume hidrokarbon. Dewasa ini, banyak investor asing yang ingin menggali potensi minyak dan gas di Natuna. Salah satunya adalah perusahaan energi raksasa *Exxon* dengan menggandeng PT Pertamina. *Exxon*, berkolaborasi dengan PT Pertamina, akan segera membangun kilang *LNG* (*Liquified Natural Gas*) di Natuna, yang ditargetkan akan selesai pada tahun 2030 mendatang (Exxon Corporation, 2004). Dari proyek tersebut, kemungkinan terbesar adalah meningkatnya armada *LNG Carrier* yang akan melewati perairan Kepulauan Riau. Maka dari itu, *LNG Carrier* dianggap sebagai peluang bisnis dalam 10 tahun mendatang. Dalam Tugas Akhir ini, *LNG Carrier* ditujukan untuk mendistribusikan *LNG* sebagai bahan bakar PLTMG (Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas) yang ada di provinsi Kepulauan Riau.

I.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, beberapa permasalahan yang akan diselesaikan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menentukan ukuran utama *LNG Carrier*?
2. Bagaimana cara menentukan *payload* yang sesuai untuk *LNG Carrier*?
3. Bagaimana analisis teknis dan ekonomis dari *LNG Carrier*?
4. Bagaimana desain model 3D dari *LNG Carrier*?
5. Bagaimana desain rencana garis *(Lines Plan) LNG Carrier*?
6. Bagaimana desain rencana umum (*General Arrangement)* LNG Carrier?

I.3. Tujuan

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan *payload* dan ukuran utama dari *Dual Fuel LNG Carrier*.
2. Mendapatkan hasil perhitungan teknis dari *Dual Fuel LNG Carrier*.
3. Mendapatkan hasil perhitungan ekonomis dari *Dual Fuel LNG Carrier*.
4. Mendapatkan desain Rencana Garis *(Lines Plan) Dual Fuel LNG Carrier*.
5. Mendapatkan desain Rencana Umum (*General Arrangement) Dual Fuel LNG Carrier*.
6. Mendapatkan desain pemodelan 3D *LNG Carrier*.

I.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan kapal baja;
2. Perairan yang digunakan adalah perairan Kepulauan Riau;
3. Masalah teknis (desain) yang dibahas hanya sebatas *concept design*;
4. Tidak membahas perhitungan konstruksi, kekuatan memanjang, dan kekuatan melintang;
5. Sistem permesinan *dual fuel* khusus untuk bahan bakar *MDO* dan *LNG*

I.5. Manfaat

Dari Tugas Akhir ini, diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut:

1. Secara akademis, diharapkan hasil pengerjaan Tugas Akhir ini dapat membantu menunjang proses belajar mengajar dan turut memajukan dunia pendidikan di Indonesia.
2. Secara praktek, diharapkan hasil dari pengerjaan Tugas Akhir ini dapat menyediakan kapal yang mampu mendistribusikan *LNG* dari sumbernya hingga pulau terpelosok yang ada di Indonesia.

I.6. Hipotesis

Dual Fuel LNG Carrier dengan bahan bakar *LNG* untuk rute pelayaran Perairan Kepulauan Riau bisa menghemat biaya bahan bakar dan mengurangi emisi SOx dan NOx pada udara.

BAB II
STUDI LITERATUR

II.1. Dasar Teori

Pada Bab II ini berisikan tentang dasar teori dan tinjauan pustaka dari topik utama dalam pembuatan Tugas Akhir ini. Dasar teori berisi uraian singkat tentang landasan teori yang mempunyai keterkaitan langsung dan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam Tugas Akhir ini.

II.1.1. Kapal Pengangkut Gas Alam Cair (*LNG Carrier*)

LNG Carrier merupakan kapal tangki yang dirancang khusus untuk membawa gas alam cair. *LNG Carrier* merupakan penurunan jenis kapal Tanker yang disesuaikan dengan kebutuhan likuidisasi dan regasifikasi gas alam cair tersebut (Wikipedia, 2017).

Gambar II.1. *LNG Carrier*
Sumber: Wikipedia, 2017

Gambar II.1 merupakan salah satu contoh bentuk kapal jenis *LNG carrier* yang memiliki jenis muatan gas yang dicairkan.

II.1.2. Gas Alam

Gas alam sering juga disebut sebagai gas Bumi atau gas rawa, adalah bahan bakar fosil berbentuk gas yang terutama terdiri dari metana CH_4). Ia dapat ditemukan di ladang minyak, ladang gas Bumi dan juga tambang batu bara.

Komponen utama dalam gas alam adalah metana (CH_4), yang merupakan molekul hidrokarbon rantai terpendek dan teringan.

Gas alam juga mengandung molekul-molekul hidrokarbon yang lebih berat seperti etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}), selain itu juga terdapat gas-gas yang mengandung sulfur (belerang). Gas alam juga merupakan sumber utama untuk sumber gas helium. Metana adalah gas rumah kaca yang dapat menciptakan pemanasan global ketika terlepas ke atmosfer, dan umumnya dianggap sebagai polutan ketimbang sumber energi yang berguna. Meskipun begitu, metana di atmosfer bereaksi dengan ozon, memproduksi karbon dioksida dan air, sehingga efek rumah kaca dari metana yang terlepas ke udara relatif hanya berlangsung sesaat. Sumber metana yang berasal dari makhluk hidup kebanyakan berasal dari rayap, ternak (mamalia) dan pertanian (diperkirakan kadar emisinya sekitar 15, 75 dan 100 juta ton per tahun secara berturut-turut).

Tabel II.1. Komposisi Zat Kimia pada Gas Alam
Sumber: Wikipedia, 2017

Komponen	%
Metana (CH_4)	80-95
Etana (C_2H_6)	5-15
Propana (C_3H_8) and Butana (C_4H_{10})	< 5

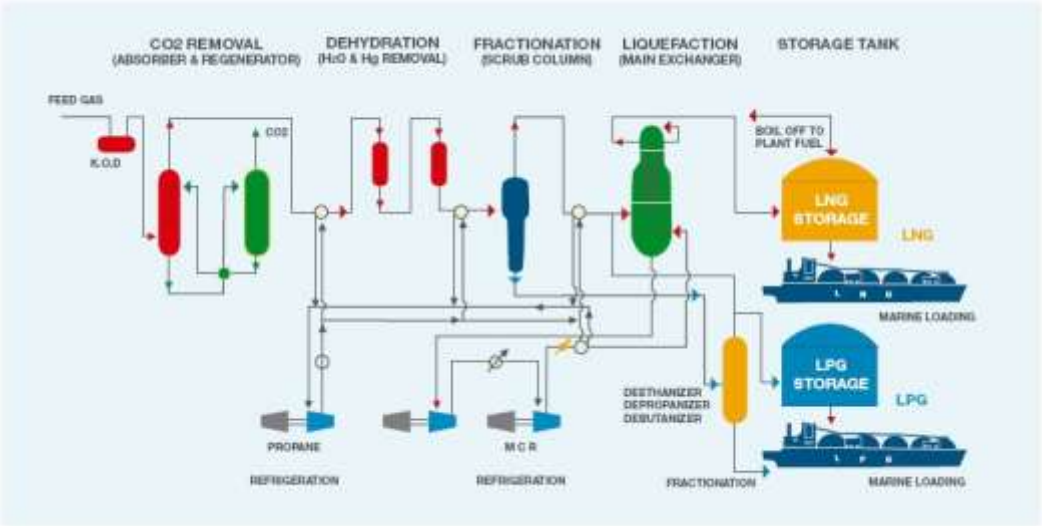
Gas alam dapat berbahaya karena sifatnya yang sangat mudah terbakar dan menimbulkan ledakan. Gas alam lebih ringan dari udara, sehingga cenderung mudah tersebar di atmosfer. Akan tetapi bila ia berada dalam ruang tertutup, seperti dalam rumah, konsentrasi gas dapat mencapai titik campuran yang mudah meledak, yang jika tersulut api, dapat menyebabkan ledakan yang dapat menghancurkan bangunan. Kandungan metana yang berbahaya di udara adalah antara 5% hingga 15%. Pembakaran satu meter kubik gas alam komersial menghasilkan 38 MJ (10.6 kWh) (Wikipedia, 2016).

II.1.3. Proses Pencairan Gas Alam

Tujuan utama dari proses pencairan gas alam yaitu untuk mereduksi volume dari gas alam sehingga memudahkan proses penyimpanan, juga pendistribusian ke konsumen. Proses pencairan gas alam melalui penurunan temperatur gas alam hingga mencapai -160^{0}C dengan tekanan atmosfir sehingga berubah wujud menjadi cair. Proses ini dilakukan melalui dua siklus, yaitu siklus propana dan siklus sistem *Multicomponent Refrigeration System* (*MCR*).

Pada siklus propana, temperatur gas alam diturunkan melalui media pendingin berupa propana yang kemudian dilanjutkan di dalam *Main Heat Exchanger* (*MHE*) pada siklus sistem *MCR*. *MHE* merupakan suatu *heat exchanger* yang terdiri atas dua bagian, yaitu *warm bundle* pada bagian bawah dan *cold bundle* pada bagian atas.

Feed gas yang masuk ke dalam *MHE* akan terlebih dahulu didinginkan pada bagian *warm bundle*, dari temperatur awal -36^{0}C menjadi temperatur -120^{0}C dan dihasilkan tekanan sebesar 38 kg/cm2. Selanjutnya gas alam didinginkan pada bagian *cold bundle* sehingga berubah menjadi gas alam cair dengan temperatur kurang lebih sebesar -160^{0}C. Gas alam cair inilah yang dikenal dengan *LNG* (PT. Badak NGL, 2016).



Gambar II.2. Proses Produksi Hingga Pemuatan *LNG*
Sumber: PT. Badak NGL, 2016

Gambar II.2 merupakan gambar proses gas alam mulai dari proses pencairan hingga pemuatan di kapal.

Proses pencairan gas alam pada umumnya dilakukan dengan menggunakan suatu unit rangkaian proses dan peralatan kilang yang dikenal dengan istilah *train*. Pada dasarnya semua *train* memiliki peralatan, konstruksi, dan menerapkan proses yang sama, hanya saja dari beberapa *train* memiliki kapasitas yang berbeda. *Train* beroperasi secara terus menerus selama 24 jam sehari dan 7 hari dalam seminggu. Masing-masing *train* terdapat lima proses yang berbeda dan terbagi ke dalam lima buah *plant*, yaitu:

1. *Plant 1: CO_2 Removal Unit*

Feed gas yang masuk ke dalam proses memiliki komposisi dengan kandungan gas CO_2 yang cukup tinggi yaitu lebih dari 5,6% dengan titik beku -78^{0}C. Selain gas CO_2, *feed gas* juga memiliki kandungan molekul hidrokarbon, dimana CH_4 sebagai komponen utama *LNG* memiliki titik beku -160^{0}C. Kandungan gas CO_2 yang tidak sedikit tersebut dapat mengganggu keberlangsungan proses pencairan gas alam. Hal ini dikarenakan titik beku gas CO_2 lebih tinggi dibanding titik beku CH_4, sehingga gas CO_2 akan membeku terlebih dahulu pada saat proses pencairan yang kemudian dapat mengakibatkan penyumbatan pada saluran di dalam peralatan kilang dan mengganggu jalannya proses. Oleh karena itu, kandungan gas CO_2 dalam *feed gas* harus dihilangkan melalui proses CO_2 *removal* di CO_2 *absorption* unit pada *plant* 1.

Pemisahan CO_2 dilakukan dengan menggunakan bahan *absorbent* larutan *activated methyl di-ethanol amine* atau aMDEA.

2. *Plant 2: Dehydration and Mercury Removal Unit*

Setelah melalui *plant* 1, proses selanjutnya yaitu penghilangan uap air dan penurunan kadar merkuri (Hg) di *plant* 2. Uap air perlu dihilangkan sebab sifatnya yang mudah membeku pada proses pendinginan gas alam sehingga dapat mengakibatkan penyumbatan pada *tube* di dalam *heat exchanger*. Sedangkan tujuan dari penurunan kadar merkuri yaitu akibat sifat reaktif merkuri terhadap material aluminium pada *tube* sehingga membentuk amalgam yang bersifat korosif dan dapat merusak tube tersebut. *Feed gas* sebagai *output* dari *plant* 2 dikontrol dengan spesifikasi konsentrasi H_2O kurang dari 0,5 ppm dan Hg kurang dari 0,1 ppm.

3. *Plant 3: Fractination Unit*

Pada *plant* 3 terjadi proses pemisahan antara fraksi ringan dan fraksi berat pada gas alam yang dilakukan menggunakan proses distilasi melalui *Scrub Column* berseri. Selain itu terjadi pula proses pemisahan fraksi berat lebih lanjut menjadi *Ethane*, *Propane*, dan *Butane* pada kolom-kolom fraksinasi. Fraksi ringan yang sebagian besar terdiri dari *Methane* akan menjadi umpan bagi *Main Heat Exchanger* 5E-1. *Propane* dan *Butane* diambil sebagai *LPG* (Produk samping) atau sebagi *Make Up Refrigerant MCR*, sedangkan *ethane* sebagian diinjeksikan ke *feed gas* yang menuju *Main Heat Exchanger* untuk menaikkan nilai kalor *HHV* (*Higher*

Heating Value) dari *LNG* dan sebagian disimpan ditangki *refrigerant* sebagai *make up MCR*. Hidrokarbon berat akan dikirim ke *plant* berikutnya sebagai kondensat.

4. *Plant 4: Refrigeneration Unit*

Proses utama yang terjadi di plant 4 yaitu proses refrigeration, dimana feed gas yang masuk ke dalam proses diatur sirkulasinya menggunakan komponen utama plant 4, yaitu compressor, heat exchanger, dan separator, agar dapat menyediakan refrigerant untuk proses selanjutnya di plant 5.

5. *Plant 5: Liquefaction Unit*

Di *plant* 5 dilakukan proses pendinginan dan pencairan *feed gas* setelah *feed gas* mengalami pemurnian dari CO_2, pengeringan dari kandungan H_2O, pemisahan Hg, serta pemisahan dari fraksi beratnya dan pendinginan bertahap oleh *propane*. Pencairan *feed gas* terjadi di *Main Heat Exchanger* (*MHE*). *Feed gas* yang berasal dari bagian atas *Scrub Column Condensate Drum* dengan temperatur sekitar 36ºC masuk melalui bagian bawah *MHE* bersama kelebihan produksi etana, propana, dan butana dari unit fraksinasi untuk menjaga nilai *HHV LNG*.

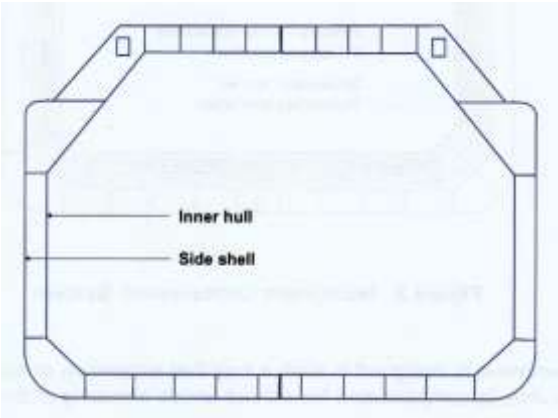
MHE merupakan suatu kolom penukar panas tegak yang terdiri dari 2 bagian, yaitu *warm bundle* di bagian bawah dan *cold bundle* di bagian puncak. Pada *cold bundle*, juga dimasukkan *MCR* gas (mayoritas didominasi oleh N_2 dan C1), dan *MCR* cair (mayoritas didominasi oleh C2 dan C3) dalam *tube* yang berbeda sebagai media pendingin *feed gas*. Pada bagian ini terjadi penurunan tekanan *MCR* uap oleh JT (Joule Thomson) *valve*. *MCR* ditampung pada *low pressure separator* dan didistribusikan di bagian *shell cold bundle* untuk mendinginkan *MCR* uap dan *feed gas* dalam *tube*.

II.1.4. Jenis Tangki Penyimpanan *LNG*

Pada tahun 1975 Sidang ke 9 dari IMO yang mengadopsi *code* untuk Konstruksi dan Perlengkapan Kapal yang membawa gas cair di dalam tangki adalah A.328 (IX) dimana regulasi tersebut telah menyediakan standar internasional untuk kapal yang mengangkut gas cair dalam bentuk curah. Peraturan ini menjadi wajib (*entry into force*) pada tahun 1986 dan pada umumnya disebut sebagai *IMO International Gas Carrier Code*. Persyaratan kode ini juga digabungkan dalam aturan untuk kapal yang mengangkut gas cair dan diterbitkan oleh *Lloyd's Register* dan klasifikasi lainnya.

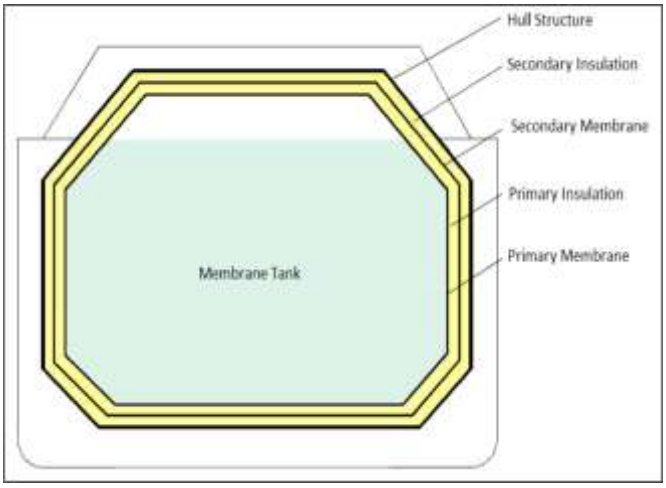
Regulasi ini mencakup pembatasan kerusakan tangki muatan dan kelangsungan hidup kapal dalam kejadian tabrakan atau karam, keamanan, penanganan muatan, bahan konstruksi, pengendalian lingkungan, proteksi kebakaran, penggunaan ruang muat sebagai bahan bakar, dan lain lain. Dan yang menarik dalam konteks konstruksi kapal di dalam *code* ini adalah bagian pada peraturan muatan yang mendefinisikan sebagai jenis ruang muat. Salah satunya yaitu lapisan luar yang menahan ruang muat dalam melindungi lambung kapal. Karena struktur dari efek *embrittling* (penggetasan) dari suhu rendah pada muatan *LNG* harus dijaga oleh lapisan tersebut untuk menghindari kebocoran dari struktur tangki primer. Jenis lapisan penahanan dalam tersebut dijelaskan di bawah ini (International Maritime Organization, 1993).

- *Integral Tanks* yaitu tangki yang bagian strukturalnya dari lambung kapal dipengaruhi dengan cara yang sama dan dengan beban yang sama pada struktur stressnya pada lambung karena berada tepat disebelahnya. Tangki ini digunakan untuk pengangkutan *LPG* atau gas yang kondisinya dekat dengan tekanan atmosfer, misalnya butana, di mana tidak ada ketentuan untuk ekspansi dan pemuaian termal dari tangki.



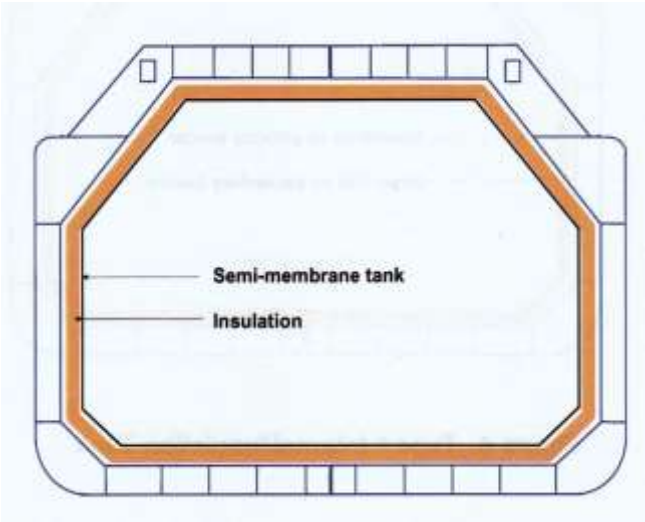
Gambar II.3. *Integral Tank*
Sumber: IMO, 1993

- *Tangki Membrane* adalah tangki *non supported tank* yang terdiri dari lapisan tipis (membran) yang ditunjang melalui isolasi oleh lambung yang berdekatan dengan struktur. Membran ini dirancang sedemikian rupa sehingga termal dan ekspansi lainnya atau pemuaiannya dikompensasikan tanpa harus menekankan dari membran. Membran tank terutama digunakan untuk kapal pengangkut *LNG*.



Gambar II.4. *Membrane Tank*
Sumber: IMO, 1993

- *Semi–Membrane Tanks* adalah tangki *non supported tank* yang dalam kondisi yang memiliki beban. Bagian datar dari tangki mensupport untuk mentransfer berat beban dan kekuatan dinamis melalui lambung, tetapi sudut bulat dan ujung-ujungnya tidak mensupport sehingga tangki berekspansi dan berkontraksi yang disalurkan akan tertahan. Tangki tersebut dikembangkan untuk pengangkutan *LNG*, tetapi memiliki telah digunakan untuk kapal sebagian kecil Kapal *LPG*.



Gambar II.5. *Semi-membrane Tank*
Sumber: IMO, 1993

Berdasarkan *The International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoints Fuels* (*IGF Code*) (Resolution MSC.370(93)) kategori tangki penyimpanan gas di bagi menjadi:

- **Tipe A**, dirancang terutama menggunakan metode standar tradisional untuk menganalisa struktur kapal. Biasanya *LPG* atau yang tekanannya mendekati atmosfer atau *LNG* pun dapat disimpan dalam tangki ini.

- **Tipe B**, dirancang dengan menggunakan alat dan metode analisis yang lebih modern dalam menentukan tingkat tegangan (*stress*), umur kelelahan (*fatigue*) dan penjalaran karakteristik retak (*fracture*). Muatan *LNG* biasanya dibawa dalam tangki tipe ini.

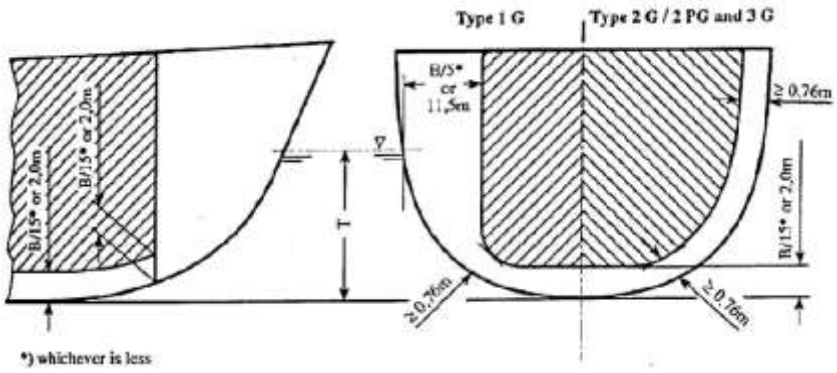
- **Tipe C**, dirancang sebagai bejana tekan (*pressure vessel*), didesain yang dominan berkriteria menjadi tekanan uap. Biasanya digunakan untuk *LPG* dan terkadang digunakan untuk etilen.

Tabel II.2. Perbandingan Jenis Tangki Tipe A, B dan C
Sumber: IGF Code, 2016

Tank type	Description	Pressure	Pros	Cons
A	Prismatic tank, adjustable to hull shape; full secondary barrier	<0.7 bar g	Space-efficient	Boil-off gas handling. More complex fuel system required High costs
B	Prismatic tank, adjustable to hull shape; partial secondary barrier	<0.7 bar g	Space-efficient	Boil-off gas handling. More complex fuel system required High costs
	Spherical tank; partial secondary barrier		Reliably proven in LNG carriers	Boil-off gas handling. More complex fuel system required
C	Pressure vessel, cylindrical with dished ends	>2 bar g	Allows pressure increase Simple fuel system Little maintenance Easy installation Lower costs	On board space requirements

II.1.5. Penyusunan *Liquified Gases Tank*

Tangki muatan *LNG* harus diletakkan ruang muat pada kapal sesuai dengan konfigurasi yang dijelaskan sebagai berikut (Biro Klasifikasi Indonesia, 2014):



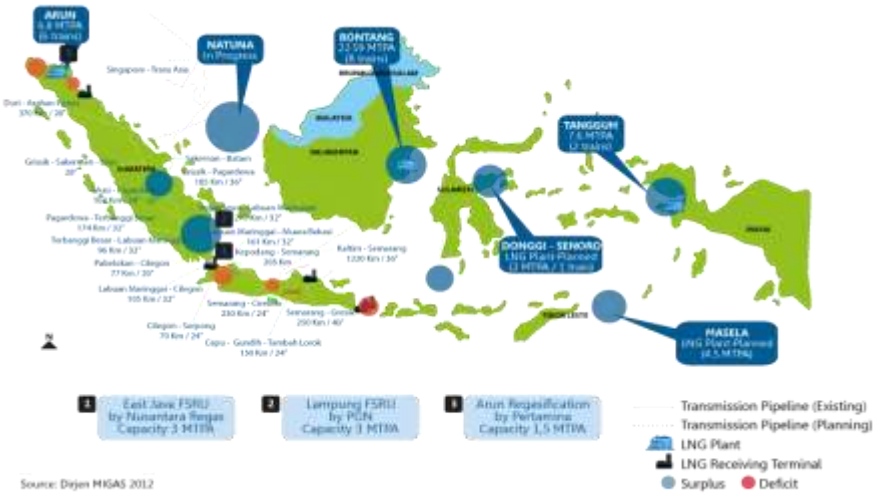
Gambar II.6. Penyusunan Tangki Muat *LNG*
Sumber: BKI Vol. IX, 2014

II.1.6. Sumber Gas Alam di Indonesia

Pemanfaatan gas alam di Indonesia dimulai pada tahun 1960an di mana produksi gas alam dari ladang gas alam PT. Stanvac Indonesia di Pendopo, Sumatera Selatan dikirim melalui pipa gas ke pabrik pupuk Pusri IA, PT. Pupuk Sriwidjaja di Palembang. Perkembangan pemanfaatan gas alam di Indonesia meningkat pesat sejak tahun 1974, di mana PERTAMINA mulai memasok gas alam melalui pipa gas dari ladang gas alam di Prabumulih, Sumatera Selatan ke pabrik pupuk Pusri II, Pusri III dan Pusri IV di Palembang. Karena sudah terlalu tua dan tidak efisien, pada tahun 1993 Pusri IA ditutup, dan digantikan oleh Pusri IB yang dibangun oleh putera-puteri bangsa Indonesia sendiri. Pada masa itu Pusri IB merupakan pabrik pupuk paling modern di kawasan Asia, karena menggunakan teknologi tinggi. Di Jawa Barat, pada waktu yang bersamaan, 1974, PERTAMINA juga memasok gas alam melalui pipa gas dari ladang gas alam di lepas pantai (*offshore*) laut Jawa dan kawasan Cirebon untuk pabrik pupuk dan industri menengah dan berat di kawasan Jawa Barat dan Cilegon Banten. Pipa gas alam yang membentang dari kawasan Cirebon menuju Cilegon, Banten memasok gas alam antara lain ke pabrik semen, pabrik pupuk, pabrik keramik, pabrik baja dan pembangkit listrik tenaga gas dan uap.

Selain untuk kebutuhan dalam negeri, gas alam di Indonesia juga di ekspor dalam bentuk *LNG* (*Liquefied Natural Gas*) ke negara-negara maju seperti Jepang, Korea Selatan, Amerika Serikat dan Cina.

Salah satu daerah penghasil gas alam terbesar di Indonesia adalah Aceh. Sumber gas alam yang terdapat di daerah Kota Lhokseumawe dikelola oleh PT. Arun *NGL Company*.



Gambar II.7. Persebaran Sumber Gas Alam di Indonesia
Sumber: Dirjen Migas, 2012

Indonesia menempati posisi ke-11 dalam negara dengan sumber gas alam terbanyak di dunia sebesar 98 *trillion cu ft*.

II.1.7. Gas Alam Cair sebagai Bahan Bakar

Gas alam cair (*LNG*) merupakan bahan bakar alternatif untuk penggerak kapal. *LNG* membutuhkan peralatan khusus agar gas alam dapat terjaga suhunya sehingga tetap dalam bentuk cair. Berikut ini adalah keuntungan dan kerugian yang potensial dari pengaplikasian *LNG* sebagai bahan bakar:

- Menghasilkan sedikit CO_2, atau emisi SOx ke atmosfer;
- Dapat digunakan pada mesin *Internal Combustion* maupun *External Combustion*;
- Menghasilkan uap gas (*boil-off gas*) yang rawan meledak.

II.1.8. Emisi

Emisi gas buang dari kapal telah diatur dalam Lampiran VI MARPOL 73/78 Tahun 2006 “Peraturan tentang pencegahan pencemaran udara dari kapal”, dimana emisi adalah setiap pelepasan bahan-bahan dari kapal ke atmosfir atau laut harus tunduk pada pengawasan pada aturan ini (Peraturan Presiden nomor 29, 2012).

Kawasan Kontrol Emisi adalah kawasan dimana diterapkan aturan khusus terkait dengan emisi dari kapal yang diperlukan untuk mencegah, mengurangi dan

mengendalikan pencemaran udara dari NOx atau SOx dan bahan lainnya atau ketiga tipe emisi diatas dan keberadaannya berdampak bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Peraturan Presiden nomor 29, 2012).

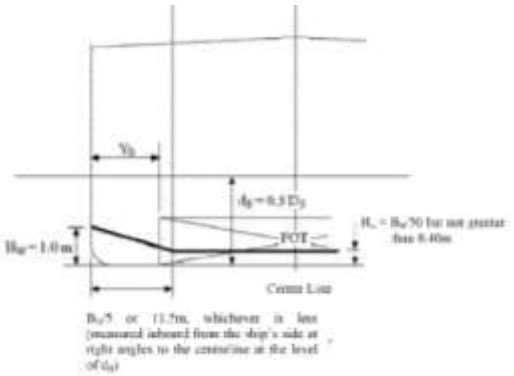
II.1.9. Hazardous Area

Hazardous Area atau zona berbahaya yang berkaitan dengan *explosive gas* merupakan pembagian ruang atau tempat pada lingkungan kerja yang melibatkan produk gas. UNECE (*United Nations Economic Comission for Europe*), salah satu badan PBB yang mengawasi dan meneliti risiko serta bahaya yang ada di lingkungan kerja, menetapkan adanya pembagian tiga zona berbahaya berdasarkan **frekuensi** dan **durasi** munculnya uap gas alam baik disengaja maupun tidak sengaja (Health and Safety Executive of UK, 2016):

- Zone 0 (Munculnya uap gas secara terus menerus pada keadaan normal).
- Zone 1 (Munculnya uap gas dapat terjadi pada keadaan normal).
- Zone 2 (Munculnya uap gas sangat jarang terjadi pada keadaan normal).

II.1.10. MARPOL ANNEX I

Regulasi yang mengatur tentang masalah polusi yang dihasilkan oleh kapal yaitu MARPOL 73/78 oleh *International Maritime Organization* (IMO). MARPOL 73/78 merupakan regulasi yang bertujuan untuk mencegah atau mengurangi timbulnya polusi yang dihasilkan oleh kapal. Dalam MARPOL 73/78 terdapat ANNEX I yang mengatur tentang pencegahan dari polusi minyak yang dihasilkan oleh kapal baik untuk masalah operasional maupun masalah kecelakaan. Regulasi dalam ANNEX I ini secara umum mengatur tentang peralatan-peralatan dan prosedur pada operasi yang melibatkan minyak di kapal, seperti yang dapat dilihat pada Gambar II.8 di bawah ini.



Gambar II.8. Penyusunan Tangki Bahan Bakar
Sumber: MARPOL ANNEX I, 2015

II.1.11. MARPOL ANNEX VI

Regulasi yang mengatur tentang masalah polusi yang dihasilkan oleh kapal yaitu MARPOL 73/78 oleh *International Maritime Organization* (IMO). MARPOL 73/78 merupakan regulasi yang bertujuan untuk mencegah atau mengurangi timbulnya polusi yang dihasilkan oleh kapal. Dalam MARPOL 73/78 terdapat ANNEX VI yang mengatur tentang pencegahan dari polusi udara yang dihasilkan kapal. Regulasi dalam ANNEX VI ini secara umum mengatur tentang:

- Menentukan batas dari emisi NOx, SOx dan Particulate Matter (PM dari kapal);
- Pelarangan emisi Ozone Depleting Substances (ODS).

II.1.12. Pengaruh Ukuran Utama Kapal

Pengaruh dasar dari berbagai dimensi lambung kapal pada fungsi/kinerja desain kapal diringkas pada Gambar II.9. Parameter yang berpengaruh tercantum dalam urutan dimulai dari yang terpenting untuk menyesuiakan parameter-parameter tersebut. Panjang (*lenght*), lebar (*beam*), tinggi (*depth*) dan sarat (*draft*) berkontribusi untuk mencapai *displacement* yang diperlukan untuk keperluan desain lambung kapal.

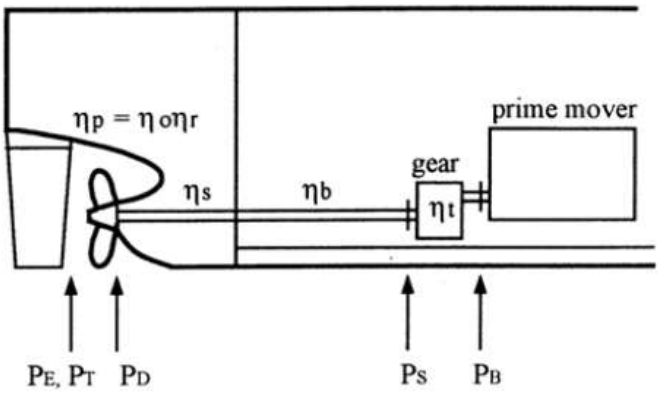
Parameter	Primary Influence of Dimensions
length	resistance, capital cost, maneuverability, longitudinal strength, hull volume, seakeeping
beam	transverse stability, resistance, maneuverability, capital cost, hull volume
depth	hull volume, longitudinal strength, transverse stability, capital cost, freeboard
draft	displacement, freeboard, resistance, transverse stability

Gambar II.9. Pengaruh Dimensi Lambung Kapal
Sumber: Parametric Design, 2001

II.1.13. Propulsi Kapal

Dengan mengetahui hambatan yang dihasilkan oleh kapal, desainer mampu menentukan kapasitas mesin yang diperlukan oleh kapal untuk melawan hambatan tersebut sehingga kapal mampu berlayar dengan kecepatan yang telah ditentukan, maka nilai *Break Horse Power* (BHP/P_B) yang dihasilkan oleh kapal harus dihitung.

Namun, sebelum itu nilai *Effective Horse Power* (EHP/P_E), *Thrust Horse Power* (THP/P_T) dan *Delivered Horse Power* (DHP/P_D) dan nilai-nilai efisiensi harus didapat terlebih dahulu. Penjelasan lebih rinci dapat dilihat pada Gambar II.8 (Parsons, 2001).



Gambar II.10. Lokasi Daya-Daya yang Bekerja pada Sistem Propulsi Kapal
Sumber: Parametric Design, 2001

II.1.14. Perhitungan Stabilitas

Stabilitas dapat diartikan sebagai kemampuan kapal untuk kembali ke keadaan semula setelah dikenai oleh gaya luar. Kemampuan tersebut dipengaruh oleh lengan dinamis (GZ) yang membentuk momen kopel yang menyeimbangkan gaya tekan ke atas dengan gaya berat. Komponen stabilitas terdiri dari GZ, KG dan GM.

Dalam perhitungan stabilitas, yang paling penting adalah mencari harga lengan dinamis (GZ). Secara umum hal-hal yang mempengaruhi keseimbangan kapal dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok besar yaitu (International Maritime Organization, 2008):

a. Faktor internal yaitu tata letak barang/cargo, bentuk ukuran kapal, kebocoran karena kandas atau tubrukan
b. Faktor eksternal yaitu berupa angin, ombak, arus dan badai

Titik-titik penting stabilitas kapal antara lain adalah:

a. KM (Tinggi titik metasentris di atas lunas)

KM ialah jarak tegak dari lunas kapal sampai ke titik M, atau jumlah jarak dari lunas ke titik apung (KB) dan jarak titik apung ke metasentris (BM), sehingga KM dapat dicari dengan rumus KM = KB + BM.

b. KB (Tinggi Titik Apung dari Lunas)

Letak titik B di atas lunas bukanlah suatu titik yang tetap, akan tetapi berpindah-pindah oleh adanya perubahan sarat atau senget kapal (Wakidjo, 1972). Menurut Rubianto (1996), nilai KB dapat dicari berdasarkan ketentuan:

- Untuk kapal tipe plat *bottom*, KB = 0,50d
- Untuk kapal tipe V *bottom*, KB = 0,67d
- Untuk kapal tipe U *bottom*, KB = 0,53d

c. BM (Jarak Titik Apung ke Metasentris)

BM dinamakan jari-jari metasentris atau metacentris radius karena bila kapal oleng dengan sudut-sudut yang kecil, maka lintasan pergerakan titik B merupakan sebagian busur lingkaran dimana M merupakan titik pusatnya dan BM sebagai jari-jarinya. Titik M masih bisa dianggap tetap karena sudut olengnya kecil (10-15).

d. KG (Tinggi Titik Berat dari Lunas)

Nilai KB untuk kapal kosong diperoleh dari percobaan stabilitas (*inclining experiment*), selanjutnya KG dapat dihitung dengan menggunakan dalil momen. Nilai KG dengan dalil momen ini digunakan bila terjadi pemuatan atau pembongkaran di atas kapal dengan mengetahui letak titik berat suatu bobot di atas lunas yang disebut dengan *vertical centre of gravity* (VCG) lalu dikalikan dengan bobot muatan tersebut sehingga diperoleh momen bobot tersebut, selanjutnya jumlah momen-momen seluruh bobot di kapal dibagi dengan jumlah bobot menghasilkan nilai KG pada saat itu.

e. GM (Tinggi Metasentris)

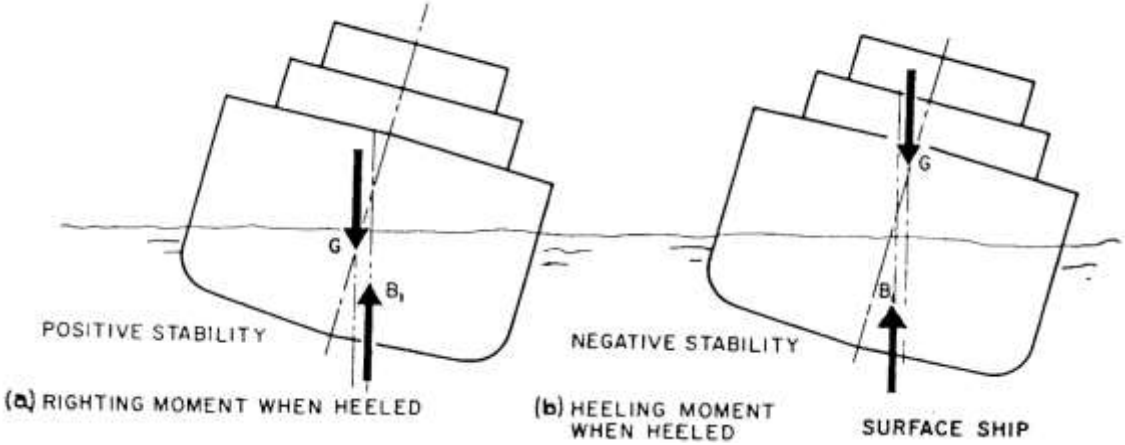
Tinggi metasentris atau *metacentris high* (GM) meruapakan jarak tegak antara titik G dan titik M.

$$GM = KM - KG$$

$$GM = (KB + BM) - KG$$

f. Momen Penegak (*Righting Moment*) dan Momen Miring (*Heeling Moment*)

Momen penegak adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke kedudukan tegaknya setelah kapal miring karena gaya-gaya dari luar dan gaya-gaya tersebut tidak bekerja lagi, sementara momen miring adalah momen yang akan menjauhkan kapal dari kedudukan tegaknya. Seperti pada Gambar II.11 merupakan sketsa momen penegak dan momen miring (Lewis, PNA Vol.I, 1988).



Gambar II.11. Momen Penegak (*Righting*) dan Momen Miring (*Heeling*)
Sumber: PNA Vol.I, 1998

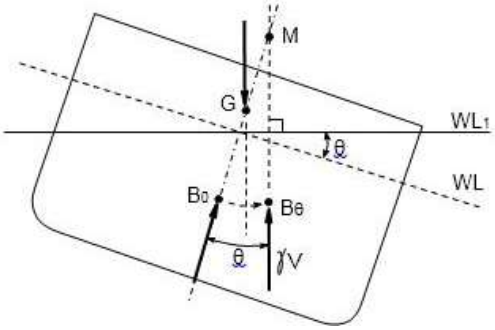
Beberapa hal yang perlu diketahui sebelum melakukan perhitungan stabilitas kapal antara lain adalah:

a. Berat benaman (isi kotor) atau displasemen adalah jumlah ton air yang dipindahkan oleh bagian kapal yang tercelup dalam air.
b. Berat kapal kosong (*Light Displacement*) yaitu berat kapal kosong termasuk mesin dan alat-alat yang melekat pada kapal.
c. *Operating load* (OL) yaitu berat dari sarana dan alat-alat untuk mengoperasikan kapal dimana tanpa alat ini kapal tidak dapat berlayar.

Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu:

a. Stabilitas Positif (*Stable Equlibrium*)

Suatu kedaan dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas kokoh sewaktu miring pasti memiliki kemampuan untuk menegak kembali.

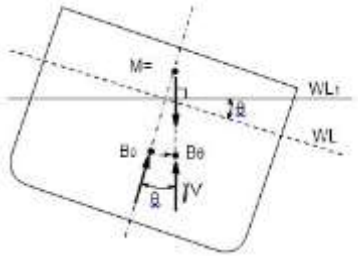


Gambar II.12. Kondisi Stabilitas Positif

Pada Gambar II.12 mengambarkan stabilitas positif dimana titik *metacenter* lebih besar kedudukannya daripada titik gravitasi.

b. Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu menyenget. Dengan kata lain bila kapal miring dan tidak ada momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan di bagian atas kapal.

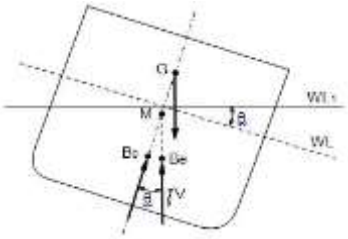


Gambar II.13. Kondisi Stabilitas Netral

Pada Gambar II.13. menggambarkan stabilitas netral dimana titik *metacenter* sama kedudukannya dengan titik gravitasi.

c. Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)

Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berada di atas titik M, sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu menyenget tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut sengetnya akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik. Atau suatu kondisi bila kapal miring karena gaya dari luar, maka timbullah sebuah momen yang dinamakan momen penerus atau *healing moment* sehingga kapal akan bertambah miring.



Gambar II.14. Kondisi Stabilitas Negatif

Pemeriksaan perhitungan stabilitas menggunakan kriteria berdasarkan *Intact Stability* (IS) *Code* Reg. III/3.1, yang isinya adalah sebagai berikut:

1. $e_{0.30^o} \geq$ 0,055 m.rad, luas Gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $30^o \geq$ 0,055 m rad.
2. $e_{0.40^o} \geq$ 0.09 m.rad, luas Gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut $40^o \geq$ 0,09 m rad.
3. $e_{30,40^o} \geq$ 0,03 m.rad, luas Gambar dibawah kurva dengan lengan penegak GZ pada sudut 30° ~ $40^o \geq$ 0.03 m rad.
4. $h_{30^o} \geq$ 0,2 m, lengan penegak GZ paling sedikit 0,2 meter pada sudut oleng 30° atau lebih.
5. h_{max} pada $\phi_{max} \geq 25^o$, lengan penegak maksimum harus terletak pada sudut oleng lebih dari 25°
6. $GM_0 \geq$ 0.15 m, tinggi metasenter awal GM_0 tidak boleh kurang dari 0,15 meter

II.1.15. Perhitungan *Freeboard*

Freeboard adalah hasil pengurangan tinggi kapal dengan sarat kapal dimana tinggi kapal termasuk tebal kulit dan lapisan kayu jika ada, sedangkan sarat T diukur pada sarat musim panas.

Besarnya *freeboard* adalah panjang yang diukur sebesar 96% panjang garis air (LWL) pada 85% tinggi kapal *moulded*. Untuk memilih panjang *freeboard* , pilih yang terpanjang antara Lpp dan 96% LWL pada 85% Hm. Lebar *freeboard* adalah lebar *moulded* kapal pada *midship* (Bm). Dan tinggi *freeboard* adalah tinggi yang diukur pada *midship* dari bagian atas *keel* sampai pada bagian atas *freeboard deck beam* pada sisi kapal ditambah dengan tebal pelat *stringer* (senta) bila geladak tanpa penutup kayu.

Adapun langkah untuk menghitung *freeboard* adalah sebagai berikut (ICLL 1966, 1966):

1. Perhitungan
   a. Tipe kapal

   Tipe A : adalah kapal yang:

   1. didesain hanya untuk mengangkut kargo curah cair; atau
   2. memiliki kekokohan tinggi pada geladak terbuka dengan alasan kenyataan bahwa tangki kargo hanya memiliki lubang akses yang kecil, ditutup dengan penutup baja atau bahan lain dengan paking kedap air; dan
   3. memiliki permeabilitas yang rendah pada ruang muat yang terisi penuh.

   Kapal tipe A: *tanker*, *LNG carrier*

Kapal tipe B: kapal selain kapal tipe A; *bulk carrier*, *general cargo carrier* dsb.

b. Freboard standard

Yaitu *freeboard* yang tertera pada Tabel Standard *Freeboard* sesuai dengan tipe kapal.

c. Koreksi

- Koreksi untuk kapal yang panjang kurang dari 100 m
- koreksi blok koefisien (Cb)
- Koreksi tinggi kapal
- Tinggi standard bangunan atas dan koreksi bangunan atas
- Koreksi bangunan atas
- Minimum *Bow height*

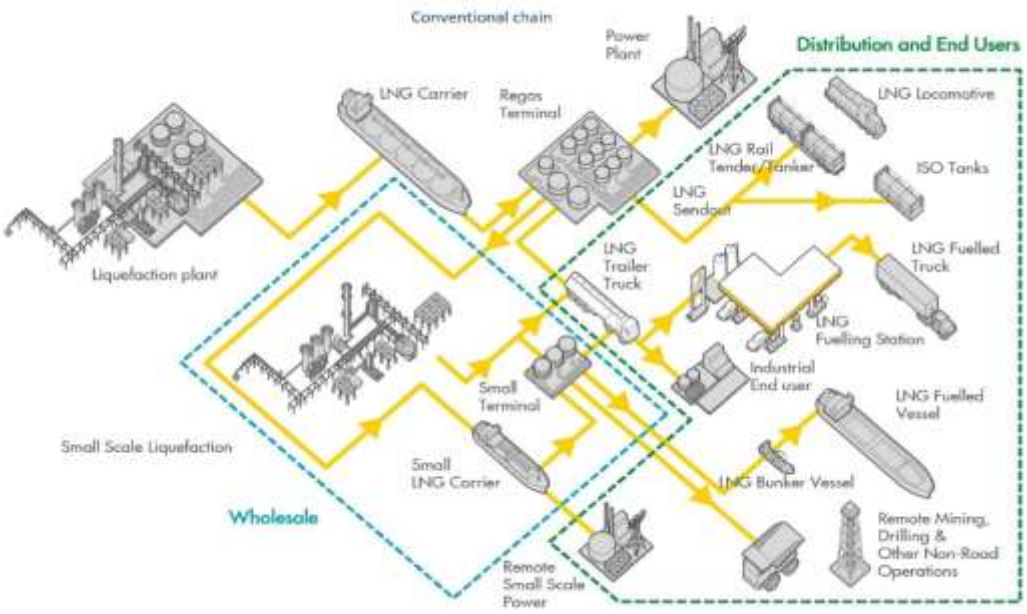
II.2. Tinjauan Pustaka

II.2.1. Perkembangan Industri *Small Scale LNG*

Dewasa ini, perusahaan-perusahaan energi sedang maraknya mempersiapkan *supply LNG* untuk kebutuhan industri di dunia. Salah satunya adalah industri *Small Scale LNG* yang dimana ukuran industrinya lebih kecil dibanding industri *LNG* konvensional. Industri ini diperkirakan akan banyak berkembang di benua Amerika Utara (42%), Asia (40%) dan Eropa (18%) (Oil & Gas IQ, 2014).

Gambar II.15. Perkiraan Perkembangan Industri *LNG* di Dunia
Sumber: Oil & Gas IQ, 2014

Adapun alur produksi hingga distribusi pada industri *LNG* dapat dilihat pada Gambar II.16.

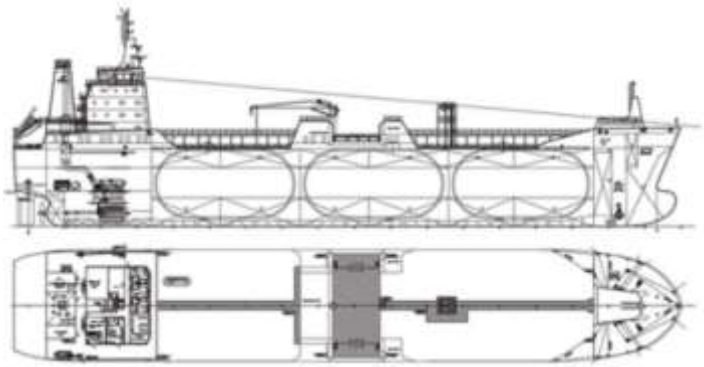


Gambar II.16. Alur Produksi dan Distribusi *LNG*
Sumber: Oil & Gas IQ, 2014

II.2.2. Perkembangan Desain *Small Scale LNG Carrier* (< 40.000 m^3)

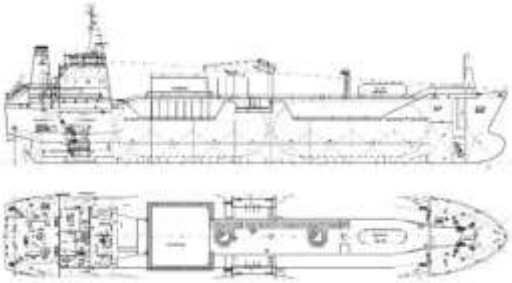
Hingga 2014, Wartsila telah menyelesaikan *prototype* rancangan umum *Small Scale LNG Carrier*. Wartsila telah mendapatkan *AIP* (*Approval in Principle*) dalam perancangan *Small Scale LNG Carrier* dari tiga klas yang termasuk dalam AIACS (Wartsila, 2016).

1. *The 20,000m3 LNG Carrier design, WSD50 20K, was verified with AIP by Lloyd's Register in March 2015 and DNV GL in June 2015.*



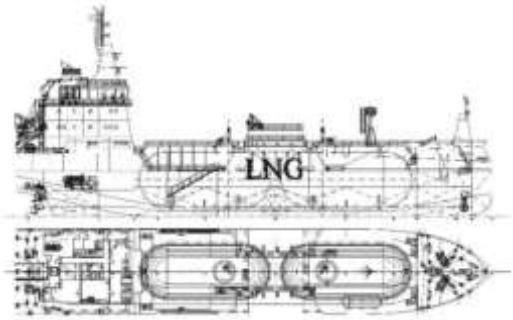
Gambar II.17. 20.000 m^3 *LNG Carrier*
(Sumber: Wartsila, 2016)

2. *The 12,000m3 Multi-Gas Carrier design, WSD55 12K, was verified with AIP by CCS – China Classification Society in March 2015 and DNV GL in June 2015.*



Gambar II.18. 12.000 m^3 *Multi Gas Carrier*
(Sumber: Wartsila, 2016)

3. *The 3,000m3 Bunkering Vessel design, WSD59 3K, was verified with AIP by ABS in March 2015.*



Gambar II.19. 3.000 m^3 *Bunkering Vessel*
(Sumber: Wartsila, 2016)

II.2.3. Sistem Permesinan *Dual Fuel*

Mesin dual fuel beroperasi menggunakan *Liquified Natural Gas* (*LNG*) dan *marine diesel fuel oil* (*MDO/MDF*) secara bersamaan. Pada proses pembakaran, sebagian besar bahan bakar yang terbakar adalah gas alam dan bahan bakar solar yang memiliki fungsi sebagai *pilot fuel* atau pemantik saat dimulainya proses pembakaran.

Penggunaan bahan bakar solar dapat mempertahankan rasio kompresi dan efisiensinya. Sedangkan gas alam di sini berkontribusi untuk meneruskan pembakaran yang terjadi secara terus menerus sehingga menghemat konsumsi bahan bakar minyak dan mengurangi emisi hasil gas buang. Pada mesin *dual* fuel, ketika berjalan di mode gas, mesin *dual fuel* bertindak sesuai dengan prinsip *Otto*, saat gas dicampur dengan udara sebelum mulai kompresi, tekanan gas sekitar 5 bar. Tekanan gas ini dalam kisaran yang sama dengan tekanan gas pada instalasi turbin uap. Dekat dengan pusat *topdead*, bahan bakar minyak disuntikkan dalam jumlah yang sangat kecil untuk memicu pengapian.

Selain berjalan di gas, mesin *dual fuel* juga dapat berjalan dengan bahan bakar minyak konvensional (*MDO*, *HFO*). Ketika berjalan dengan bahan bakar minyak saja, mesin *dual fuel* bertindak sebagai mesin diesel normal. Sistem berbahan bakar ganda ini memiliki hasil pembakaran yang bersih sehingga emisi yang dihasilkan menjadi lebih berkurang. Dengan begitu, penerapan sistem berbahan bakar ganda mampu menghemat pengeluaran konsumsi bahan bakar serta mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin dengan sistem berbahan bakar tunggal (Ariana, 2013).

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
TINJAUAN WILAYAH

III.1. Umum

LNG Carrier ini didesain untuk mengangkut gas alam cair (produk) yang telah di proses di kilang *LNG* Natuna kepada PLTMG yang tersebar di Kepulauan Riau. Ada empat PLTMG yang akan didistribusikan oleh *LNG Carrier* pada Tugas Akhir ini.

III.2. Provinsi Kepulauan Riau

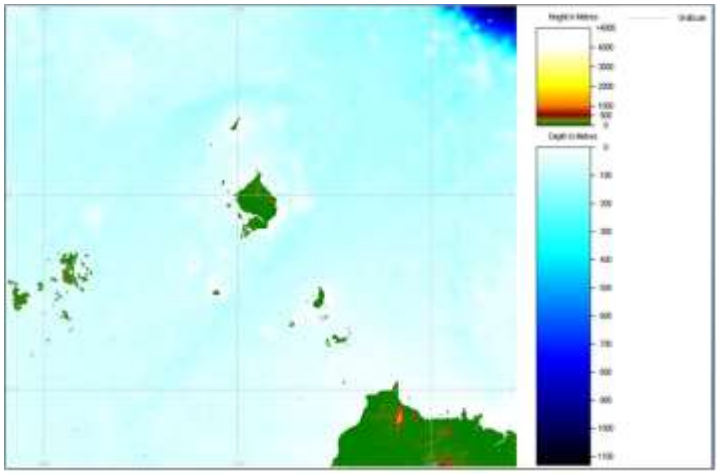
Kepulauan Riau (Kepri) adalah sebuah provinsi di Indonesia. Provinsi Kepulauan Riau berbatasan dengan Vietnam dan Kamboja di sebelah utara; Malaysia dan provinsi Kalimantan Barat di timur; provinsi Kepulauan Bangka Belitung dan Jambi di selatan; negara Singapura, Malaysia dan provinsi Riau di sebelah barat. Provinsi ini termasuk provinsi kepulauan di Indonesia (Wikipedia, 2017).

Gambar III.1. Peta Provinsi Kepri
Sumber: Wikipedia, 2017

Secara keseluruhan wilayah Kepulauan Riau terdiri dari 5 kabupaten, dan 2 kota, 47 kecamatan serta 274 kelurahan/desa dengan jumlah 2.408 pulau besar, dan kecil yang 30% belum bernama, dan berpenduduk. Adapun luas wilayahnya sebesar 252.601 km², sekitar 95% merupakan lautan, dan hanya sekitar 5% daratan.

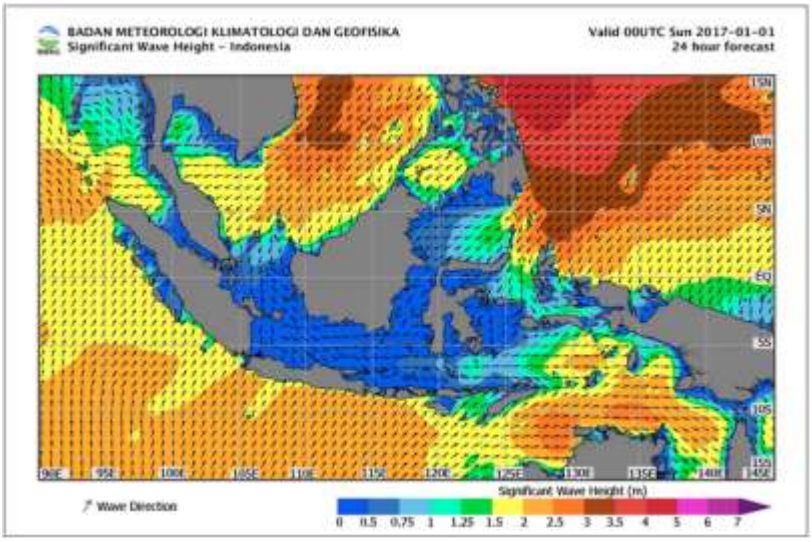
III.3. Kondisi Perairan

Kondisi perairan pada provinsi Kepri merupakan perairan yang dangkal, khususnya pada perairan Kepri Barat (Batam, Tanjung Pinang dan sebagainya). Sedangkan untuk perairan pulau Natuna termasuk perairan sedang karena berbatasan dengan laut Cina Selatan. Kedalaman perairan pulau Natuna berkisar antara 0 sampai 10 meter seperti yang dapat dilihat pada Gambar III.2 di bawah ini.



Gambar III.2. Kedalaman Perairan Pulau Natuna
Sumber: BMKG, 2017

Sedangkan untuk tinggi gelombang pada perairan ini, berkisar antara 0 hingga 2,0 m bedasarkan data rata rata tinggi gelombang pada Gambar III.3 berikut (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2017).



Gambar III.3. Ketinggian Gelombang di Indonesia
Sumber: BMKG, 2017

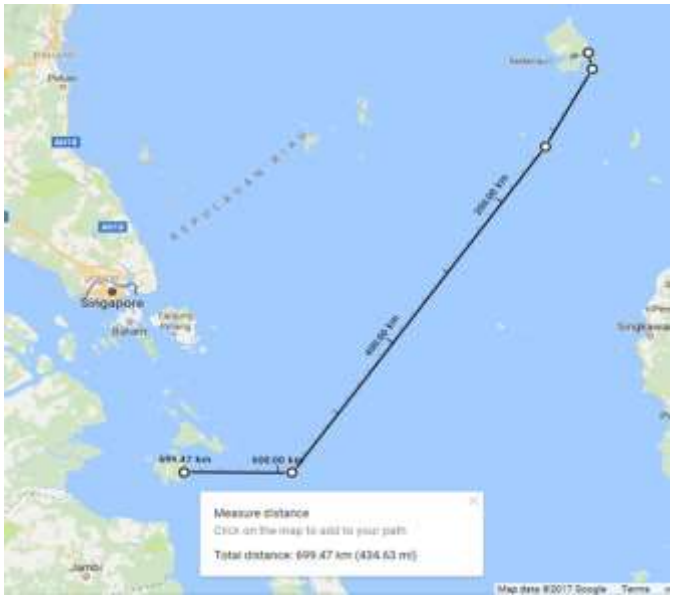
III.4. Rute Pelayaran

Rute pelayaran didasarkan pada lokasi PLTMG yang ada provinsi Kepri. Berdasarkan peta pembangkit listrik seperti yang dapat dilihat pada Gambar III.4, ada lima PLTMG yang akan beroperasi di provinsi Kepri, termasuk Natuna itu sendiri. Karena sumber gas alam berasal dari Natuna juga, maka PLTMG di Natuna tidak dimasukkan kedalam tujuan pelayaran (Perusahaan Listrik Negara, 2015).

Gambar III.4. Peta Pembangkit Listrik di Indonesia
Sumber: PT. PLN, 2015

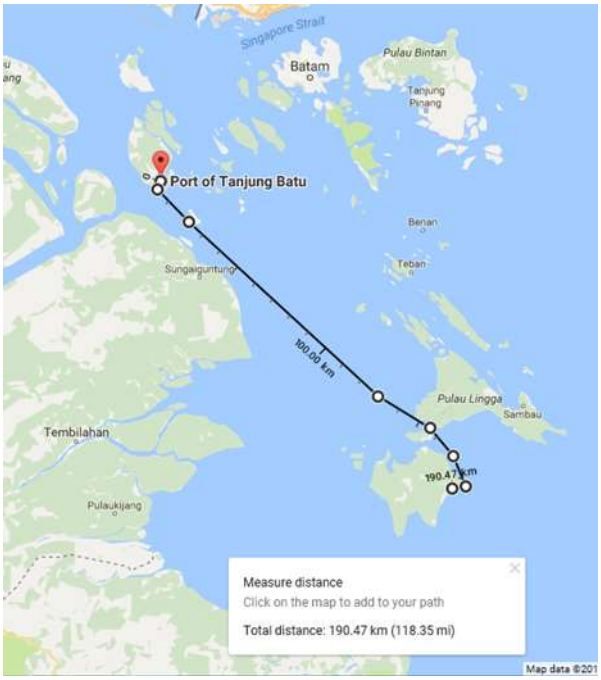
Dari Gambar III.4, maka dapat dibuat pemetaan rute pelayaran yang lebih rinci seperti yang dapat dilihat pada Gambar III.5 di bawah ini (Google, 2017).

Gambar III.5. Pulau Tujuan Distribusi *LNG* di Provinsi Kepri
Sumber: *Google Maps*, 2017



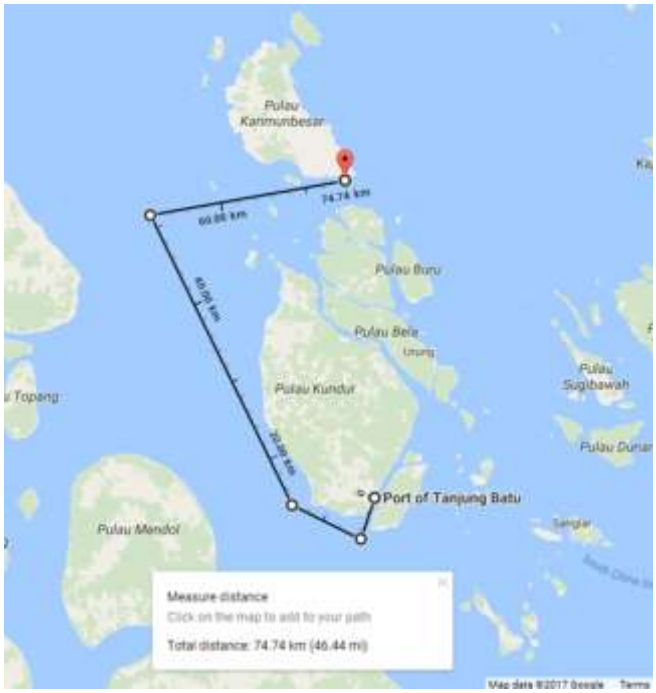
Gambar III.6. Natuna ke Singkep
Sumber: *Google Maps*, 2017

Dari Gambar III.6 dapat dilihat bahwa jarak dari pulau Natuna ke pulau Singkep adalah 700 km atau setara dengan 378 *nautical miles* (nm).



Gambar III.7. Singkep ke Tanjung Batu
Sumber: *Google Maps*, 2017

Dari Gambar III.7 dapat dilihat bahwa jarak dari pulau Singkep ke pulau Tanjung Batu adalah 190 km atau setara dengan 103 nm.

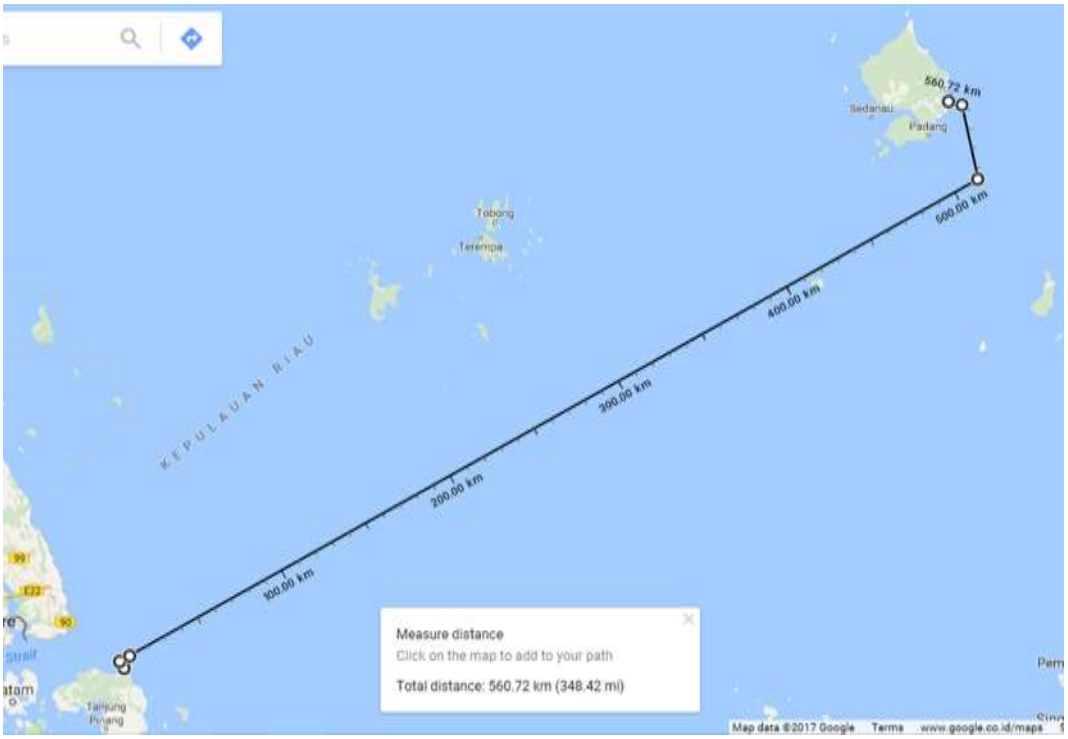


Gambar III.8. Tanjung Batu ke Tanjung Balai Karimun
Sumber: *Google Maps*, 2017

Dari Gambar III.8 dapat dilihat bahwa jarak dari pulau Tanjung Batu ke pulau Tanjung Balai Karimun adalah 74 km atau setara dengan 40 nm.

Gambar III.9. Tanjung Balai Karimun ke Bintan
Sumber: *Google Maps*, 2017

Dari Gambar III.9 dapat dilihat bahwa jarak dari pulau Tanjung Balai Karimun ke pulau Bintan Karimun adalah 130 km atau setara dengan 70 nm.



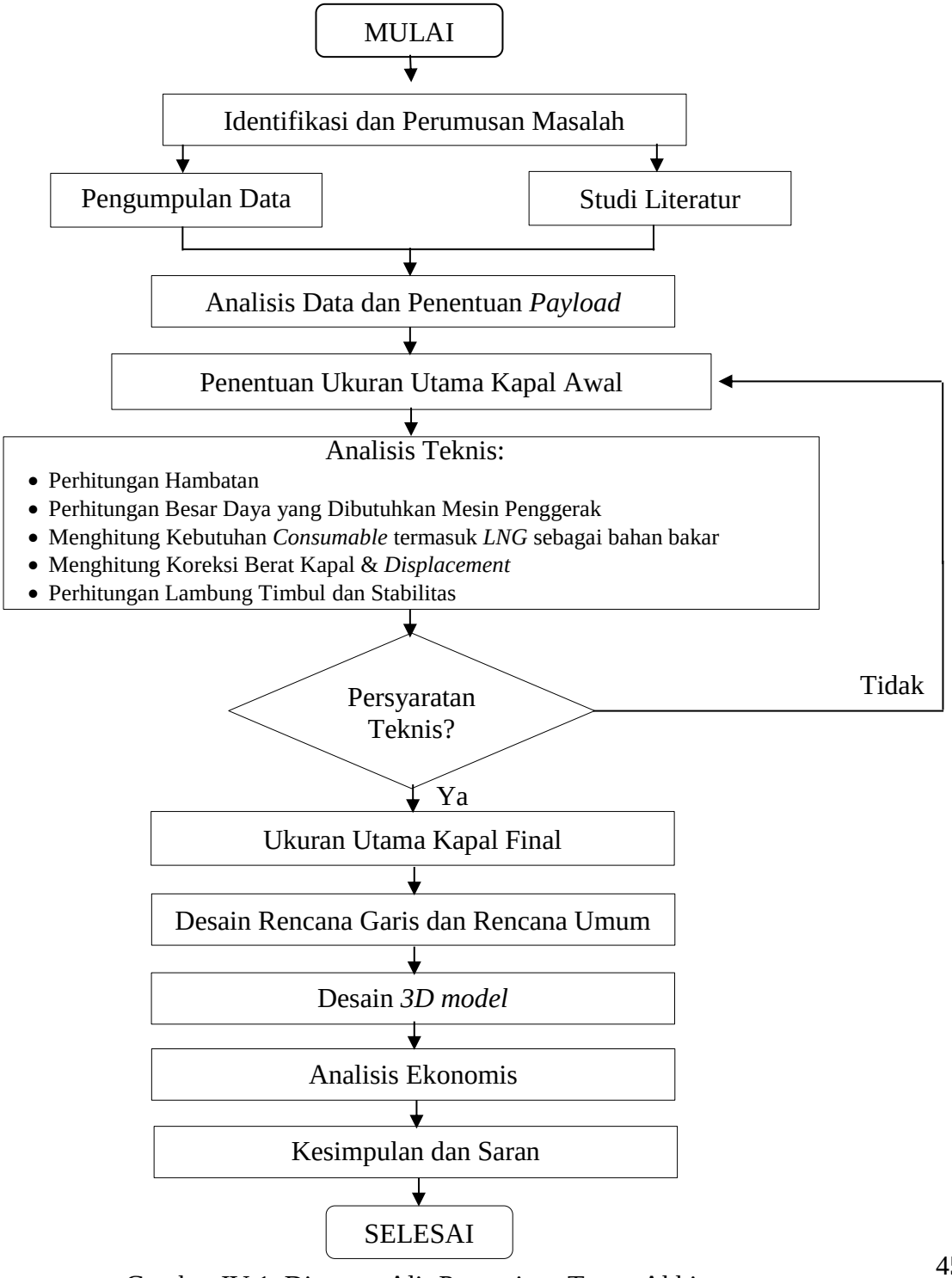
Gambar III.10. Bintan ke Natuna
Sumber: *Google Maps*, 2017

Dari Gambar III.8 dapat dilihat bahwa jarak dari pulau Tanjung Batu ke pulau Tanjung Balai Karimun adalah 560 km atau setara dengan 302 nm.

BAB IV
METODOLOGI

IV.1. Diagram Alir

Berikut adalah diagram alir pengerjaan Tugas Akhir yang ditunjukkan pada Gambar IV.1.



Gambar IV.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

IV.2. Proses Pengerjaan

IV.2.1. Tahap Identifikasi Masalah

Pada tahap awal ini dilakukan identifikasi permasalahan berupa:

1. Potensi produksi gas alam di Indonesia;
2. Kurangnya sarana distribusi *LNG* dalam memasok kebutuhan industri domestic;
3. Penggunaan *LNG* yang berkembang pesat di dunia.

IV.2.2. Tahap Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan studi literatur yang berkaitan dengan permasalahan pada Tugas Akhir ini. Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan pengetahuan serta teori-teori yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini, bisa dalam bentuk hasil penelitian sebelumnya agar bisa lebih memahami permasalahan dan pengembangan yang dilakukan. Studi yang dilakukan diantaranya:

- Cara Kerja *LNG* sebagai bahan bakar

  Perlu untuk diketahui bagaimana proses gas alam cair bisa digunakan sebagai bahan bakar pengganti BBM untuk menggerakkan sistem propulsi kapal. Sehingga dapat ditentukan besar kebutuhan dari *LNG* yang akan digunakan pada kapal.
- Metode penyimpanan *LNG* (*LNG Storage*)

  Perlu untuk diketahui bagaimana prosedur dan proses pemuatan muatan *LNG* di dalam ruang muat kapal, sehingga dapat ditentukan volume ruang muat yang efisien.
- Metode Desain kapal

  Ada beberapa metode dalam proses mendesain kapal yang perlu diketahui dan dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam pemilihan metode mana yang sesuai.

IV.2.3. Tahap Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam Tugas Akhir ini adalah metode pengumpulan secara tidak langsung (sekunder). Pengumpulan data ini dilakukan dengan mengambil data terkait dengan permasalahan dalam tugas ini. Adapun data-data yang diperlukan antara lain:

1. Data Konsumsi *LNG* di Kepulauan Riau

   Data mengenai konsumsi gas alam cair didapatkan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (KESDM RI). Data tersebut merupakan data konsumsi Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas dalam satuan *Billion British Billion Thermal Units* (bbtu) yang kemudian dikonversikan ke dalam ukuran volume gas (m3).

2. Kondisi Perairan

   Perairan di provinsi Kepulauan Riau tergolong dangkal, maka dari itu perlu diperoleh data-data sekunder terkait seperti kedalaman pelabuhan.

3. Data Permesinan *Dual Fuel*

   Untuk mesin yang akan digunakan nantinya akan diambil dari katalog mesin (Wartsila, 2016) dan website http://www.alibaba.com.

IV.2.4. Tahap Pengolahan Data

Dari data-data yang didapatkan, maka proses berikutnya adalah pengolahan data tersebut sebagai input dalam perhitungan selanjutnya. Pengolahan data tersebut dilakukan untuk mengetahui beberapa hal diantaranya:

1. *Payload*;
2. Ukuran utama kapal,
3. Menghitung kebutuhan *consumable* termasuk *LNG* sebagai bahan bakar;
4. Menghitung *Light Weight Tonnage* dan Dead *Weight Tonnage*;
5. Menghitung *displacement*;
6. Menghitung *freeboard*;
7. Menghitung stabilitas;

IV.2.5. Tahap Perencanaan

Pada tahapan ini akan dilakukan proses perencanaan (desain) kapal. Perencanaan yang dilakukan terbagi menjadi 2 yaitu:

1. Desain Rencana Garis

   Pembuatan rencana garis dilakukan dengan bantuan *software maxsurf*. Setelah proses desain rencana garis selesai, proses berikutnya adalah menyempurnakan atau menyelesaikan desain rencana garis dengan bantuan *software AutoCad*.

2. Desain Rencana Umum

   Dari rencana garis yang telah didesain, dibuatlah rencana umum dari tampak depan, samping, dan belakang. Di dalam rencana umum ini sudah termasuk penataan ruangan, peralatan, perlengkapan, muatan, dan hal lainnya.

3. Pemodelan 3D

   Dari rencana garis dan rencana umum yang telah diselesaikan, maka dibuatlah pemodelan 3D dari desain kapal ini dengan bantuan *software Maxsurf* dan *Autodesk Fusion 360*.

IV.2.6. Perhitungan Biaya

Perhitungan biaya yang dilakukan adalah estimasi biaya pembangunan kapal, estimasi BEP (*Break-Even Point).*

IV.2.7. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dirangkum hasil desain yang didapat dan saran untuk pengembangan lebih lanjut. Setelah semua tahapan selesai dilaksanakan, selanjutnya ditarik kesimpulan dari analisis dan perhitungan. Kesimpulan berupa ukuran utama kapal dan koreksi terhadap standar yang ada.

Saran dibuat untuk menyempurnakan terhadap beberapa hal yang belum tercakup di dalam proses desain ini.

BAB V
ANALISIS TEKNIS

V.1. Umum

Analisis teknis pada kapal ini meliputi bebarapa aspek, antara lain sebagai berikut:

1. Perhitungan dan pemeriksaan kriteria *freeboard* dan *tonnage* mengacu pada *International Convention on Tonnage Measurement of Ships* 1969 dari IMO (*International Maritime Organization).*
2. Pemeriksaan kondisi keseimbangan kapal sebelum, meliputi pemeriksaan kriteria stabilitas berdasarkan *Intact Stability* (IS) *Code* IMO dan kriteria trim berdasarkan SOLAS 1974 Reg. II/7.

V.2. Penentuan *Payload*

Penentuan *payload* dari *Dual Fuel LNG Carrier* ini berdasarkan konsumsi bahan bakar gas (*LNG*) di beberapa PLTMG yang ada di provinsi Kepulauan Riau. Ada empat PLTMG dengan total konsumsi bahan bakar gas perhari sekitar 15 bbtud (*britsh biliion thermal unit day*). Tabel di bawah menunjukkan konsumsi total bahan bakar gas yang dibutuhkan setiap provinsi (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2016).

Tabel V.1. Perkiraan Pasokan Gas untuk Pembangkit PLN di Sumatera
Sumber: Keputusan Menteri RI No. 5899, 2016

No	Pembangkit	Pemasok	BBTUD									
			2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
1	MPP Bangka	Bontang, Tangguh, FSRU Lampung (Potensi)	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
2	MPP Belitung	Bontang, Tangguh, FSRU Lampung (Potensi)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
3	MPP Lampung	Bontang, Tangguh, FSRU Lampung (Potensi)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
4	PLTGU/MG Lampung Peaker	Bontang, Tangguh, FSRU Lampung (Potensi)	-	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
5	PLTMG Belitung (IPP PLTMG Tersebar)	Gas dari IPP (LNG-Pontensi)			4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
6	PLTGU/MG Bangka Peaker (IPP)	Gas dari IPP (LNG-Pontensi)			6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
7	PLTG Payo Selincah	Energasindo	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
8	PLTG Batanghari	Energasindo (tambahan)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
9	PLTMG Sungai Gelam	PEP - TAC (Own Operation)	1.5	1.5								
10	PLTGU/MGU Sumbagut 3, dan 4 Peaker (IPP)	Gas dari IPP (LNG-Pontensi)		60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1	60.1
11	PLTG/MG Jambi Peaker (IPP)	Gas dari IPP (LNG-Pontensi)				9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
12	PLTG Teluk Lembu	EMP Bentu	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0
13	PLTG/MG Riau Peaker	COPI	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
14	PLTG Balai Pungut	JOB - Pertamina Talisman Jambi Merang (Duri)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
15	PLTMG Balai Pungut	JOB - Pertamina Talisman Jambi Merang (Duri)										
16	PLTMG Tersebar Kepri (IPP PLTMG Tersebar)	Gas dari IPP (LNG-Pontensi)			16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8

Dari data tersebut, kemudian diolah dan dikonversikan menjadi satuan meter kubik (m^3) sehingga dapat ditentukan besar tangki yang akan digunakan pada kapal. Tabel V.2 menunjukkan perhitungan lama pelayaran dengan asumsi waktu berlabuh kapal diabaikan, karena data *loading unloading* untuk kapal sejenis tidak didapatkan, sehingga dapat ditentukan jumlah muatan yang akan dibawa seperti yang dapat dilihat pada Tabel V.2.

Tabel V.2. Perhitungan Lama Pelayaran

Vs	12 knots		D.Well Pump	400 m3/hour	
RUTE PELAYARAN		Jarak (*nm*)	Durasi (Jam)	Bongkar Muat (Jam)	Total (Jam)
Natuna - Dabo Singkep		378	31.500	1.56	33.06
Dabo Singkep - Tanjung Batu		87.5	7.292	1.872	9.164
Tanjung Batu - Tanjung Balai Karimun		40.3	3.358	3.12	6.478
Tanjung Balai Karimun - Bintan		70.2	5.850	2.50	8.346
Bintan -Natuna (Loading)		302.8	25.233	1.35	26.582
		878.8	**73.23**		**83.63**

Tabel V.3. Perhitungan *Payload*

	Pengisian kembali (hari)	*Bbtud*	*cbms LNG/day*	*Reserve (cbms)*
Dabo Singkep	5	3	124.8	624
Tanjung Batu	6	3	124.8	748.8
Tanjung Balai Karimun	6	5	208	1248
Bintan	6	4	166.4	998.4
	TOTAL	**15**	**624**	**3619.2**

Sehingga didapat jumlah muatan sebesar **3619.2 m^3** yang dijadikan sebagai *Payload LNG Carrier*. Penulis membulatkan *Payload* menjadi **4000 m^3** dikarenakan adanya pertimbangan penyesuaian tangki konvensional. Setelah didapat satuan volume muatan, maka dapat dikonversikan kedalam satuan berat (ton) seperti pada Tabel V-4 (International Gas Union, 2017).

Tabel V.4. Perhitungan Berat *Payload*

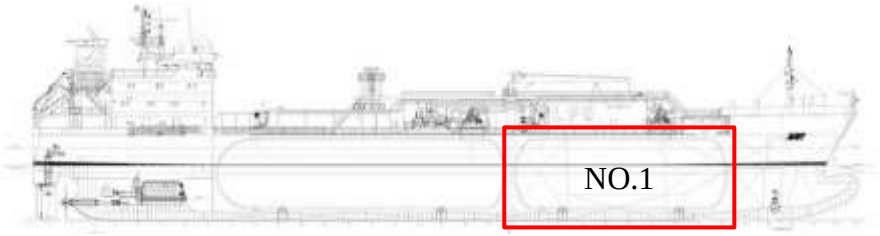
Tabel Konversi (*Sumber : International Gas Union*)			
1 cbms LNG	=	24.02	mmBtu
1 Bbtu	=	41.6	cbms LNG
1 cbms LNG	=	0.457	ton
Payload	=	**4000**	**cbms**
	=	**1828.0**	**ton**

V.3. Penentuan Ukuran Utama

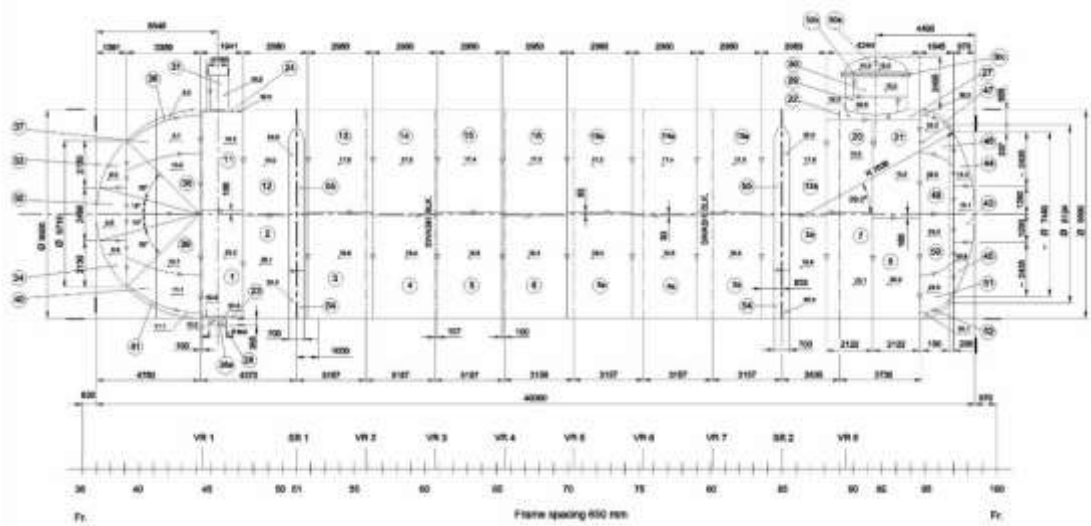
Setelah berat *payload* didapatkan, maka dapat di tentukan ukuran tangki *LNG* yang akan digunakan. Penulis mengambil ukuran tangki dari sebuah jurnal internasional yang membahas tentang struktur tangki *liquified gas* pada kapal (Ivo Senjanovic, 2005).

Tank No.	2		1	
Volume, V [m^3]	4485		1960	
Cargo weight, W_c [kN]	42678		18651	
Steel weight, W_s [kN]	4268		1865	
Total weight, W [kN]	46946		20516	
Frame No.	51	85	111	136
Reaction coefficient, C	0.5	0.5	0.5	0.5
Acceleration, a_β, $\beta = 0°$	1.6776	1.5807	1.7581	2.0361
Acceleration, a_β, $\beta = 30°$	1.3697	1.3443	1.3921	1.4787
Reaction, F [kN], $\beta = 0°$	39378	37104	18035	20886
Reaction, F [kN], $\beta = 30°$	32151	31555	14280	15168

Gambar V.1. Spesifikasi Tangki



Gambar V.2. *Outboard Profile* dari *LPG Carrier*



Gambar V.3. Struktur Tangki *Bilobe* (No.2) pada *Gas Carrier*

Tangki No.1 (1960 m^3) merupakan tangki yang digunakan pada Tugas Akhir ini. Dari Gambar V.3 dapat diketahui jarak gading dari ruang muat kapal tersebut adalah 650 mm. Sehingga dapat diukur panjang tangki No.1 dengan mengalikan jarak gading dengan jumlah gading yang ada pada gambar V.2.

46 jarak gading = 46 x 0.65 m = 29.9 m (**30 m**)

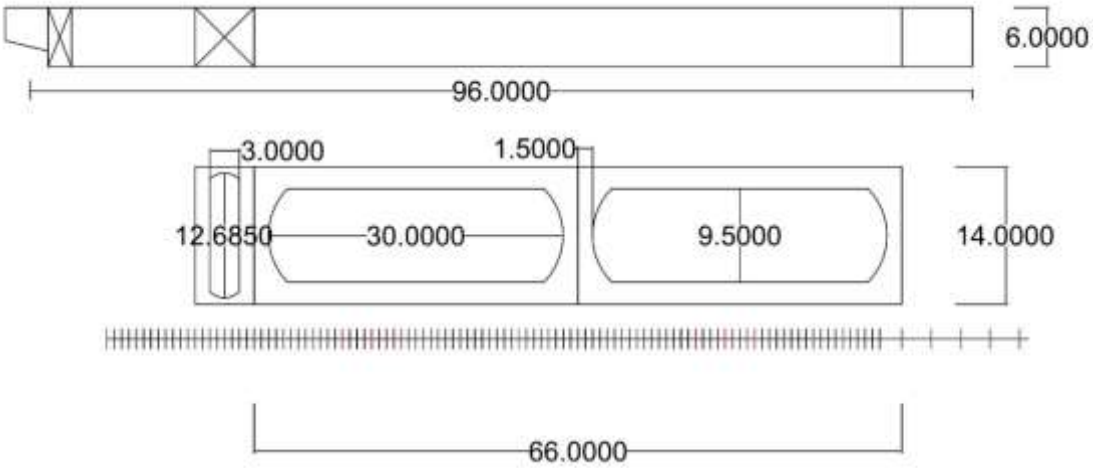
Maka didapatkan ukuran tangki (*Type C Cylindrical*) dengan diameter 9500 mm dan panjang 30000 mm sehingga dapat ditentukan *layout* awal dari *Dual Fuel LNG Carrier*.

Dalam menentukan *layout* awal kapal ini ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Kedalaman pelabuhan provinsi Kepri yang terdangkal adalah 3,8 m. Sehingga sarat yang digunakan adalah 3,5 m (PELINDO I, 2017).

No	Pelabuhan / Unit Bisnis	AREA DARAT				
		Dermaga		Gudang (Shed)	Lapangan Penumpukan	Container Yard (CY)
		Panjang	Kedalaman			
		(m)	(- mLWS)	(m2)	(m2)	(m2)
1	Belawan (Konvensional Terminal)	3,283.00	6 - 9	46,070.00	53,684.00	80,288.00
2	BICT (Container Terminal)	950.00	10 - 11	-	-	251,485.00
3	Pangkalan Susu	-	5.5	-	-	-
4	Dumai	1,758.00	6 - 9	39,283.00	26,722.00	-
5	Bagan Siapi-api	36.00		-	-	-
6	Tanjung Pinang (Sri Bintan Pura)	215.60	3	-	-	-
7	Tanjung Pinang (Sri payung Batu Anam)	210.25	4	2,000.00	-	-
8	Tanjung Pinang (Sei Kolak Kijang)	250.00	9	-	-	-
9	Lhokseumawe	846.50	5 - 10	3,140.00	17,158.50	8,000.00
10	Kuala Langsa	300.00	5	800.00	10,000.00	-
11	Pekan Baru	282.00	5 - 6	1,992.00	9,000.00	-
12	Perawang	328.00	6 - 6.5	-	8,522.00	20,000.00
13	Rengat	70.00	8 - 10	400.00	2,000.00	-
14	Tanjung Balai Karimun	97.00	3.8 - 8.5	-	-	-
15	Selat Panjang	155.00	5 - 10	1,200.00	-	-
16	Tanjung Balai Asahan	364.00	4	3,820.10	7,700.00	-
17	Malahayati	380.00	5 - 10	800.00	23,991.00	6,980.00
18	Meulaboh	50.00	1 - 15	-	3,513.00	-
19	Sibolga	250.00	6 - 9	2,900.00	2,000.00	3,550.00
20	Gunung Sitoli	80.00	11.6	978.00	3,218.60	-
21	Sei Pakning	60.00	6		-	-
22	Tembilahan	80.00	6 - 75	450.00	800.00	-
23	Kuala Enok	85.00		-	-	-
24	Kuala tanjung	80.00	5 - 10		-	-
25	BLC	-	-	6,110.00	-	184,494.00

Gambar V.4. Data Pelabuhan pada PELINDO I
(Sumber: PELINDO I, 2017)



Gambar V.5. *Layout* Awal dari *Dual Fuel LNG Carrier*

Sehingga didapatkan ukuran utama awal kapal sebagai berikut:

LPP = 96 m

LWL = 99,8 m

B = 14 m

H = 6 m

T = 3,5 m

Dengan perhitungan rasio ukuran utama kapal sebagai berikut:

L/B = 6,86 ($3,5 \leq L/B \leq 10$) = **Memenuhi**

B/T = 4,0 ($1,8 \leq B/T \leq 5$) = **Memenuhi**

L/T = 27,43 ($10 \leq L/T \leq 30$) = **Memenuhi**

V.4. Perhitungan Teknis

Setelah didapatkan ukuran utama kapal, dan telah disesuaikan dengan batasan rasio ukuran utama kapal selanjutnya dilakukan perhitungan teknis meliputi perhitungan berat baja kapal, perhitungan peralatan dan perlengkapan, perhitungan LWT, perhitungan DWT, *trim*, lambung timbul dan stabilitas.

V.4.1. Perhitungan Hambatan Kapal

Berikut ini adalah hasil perhitungan hambatan kapal dengan metode *Holtrop* dan *Mennen* (Lewis, 1988):

Tabel V.5. Perhitungan Hambatan

Lwl=	99.840	m
Fn=	0.200	
CF0 =	0.002	
Stot =	1633.660	
1 + k =	1.221	
RT=	80.521	kN
RT+Margin=	92.599	kN

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel V.5, hambatan total kapal setelah menjumlahkan *viscous resistance*, *appendage resistance* dan *wave making resistance* adalah sebesar **92,599 kN** (*Kilo Newton*).

V.4.2. Perhitungan Propulsi Kapal

Berikut ini adalah hasil perhitungan propulsi kapal (Lewis, 1988):

Tabel V.6. Perhitungan Propulsi Kapal

Wake Friction		
ω =	0.149	
Propulsive Coeff.		
η0=	0.500	
η_H=	1.058	
ηR=	0.980	
ηD=	0.518	
Power		
PE=	568.262	kW
PD=	1096.363	kW
PB=	1147.423	kW
PB+Margin=	**1319.537**	kW

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel V.6, kebutuhan daya propulsi kapal adalah sebesar **1769,5 HP** (*Horse Power*) atau **1319,537 kW** (*Kilo Watt*).

V.4.3. Perhitungan Berat Baja Kapal

Berikut ini adalah hasil perhitungan berat baja kapal:

Tabel V.7. Perhitungan Berat Baja Kapal

Volume Total Deck House & Superstructure		
Vtot=	1215.00	m3
Cso=	0.0752	ton/m3
Lpp=	96	m3
B=	14.00	m3
Wst=	**1121.22**	**ton**

Seperti yang dapat dilihat pada Tabel V.7, berat baja kapal total adalah sebesar **1121,22 ton**.

V.4.4. Perhitungan Berat Permesinan

Berikut ini adala hasil perhitungan berat permesinan kapal:

Tabel V.8. Perhitungan Berat Permesinan

Main Engine					
	W_E =	11.1	ton		
Propulsion Unit					
	Total				
	$W_{T.Prop}$ =	$W_{Gear} + M_s + W_{Prop}$			
	=	7.346	ton		
Electrical Unit					
•	W_{Agg} =	0,001 . P (15 + 0,014.P)			
	=	9.723	ton		
Other Weight					
•	W_{ow} =	(0,04-0,07)P_B		*diambil 0.07*	
	=	31.85	ton		
•	Total Machinery Weight		=	60.019	ton

Dapat dilihat pada Tabel V.8, berat peralatan dan perlengkapan total adalah **60,019 ton**.

V.4.5. Perhitungan *Equipment Number* (Z *Number*)

Mooring system merupakan suatu sistem pada kapal yang digunakan untuk berlabuh. Salah satu jenis yang termasuk *mooring system* adalah a*nchor* (jangkar), *chain* (rantai jangkar), *rope* (tali), *chain locker* (kotak jangkar), dan *windlass* (mesin jangkar). Untuk mengetahui kebutuhan dimensi perlengkapan berlabuh digunakan perhitungan *equipment number* (Z) dengan rumus:

$$Z = Displacement^{\wedge}(2/3) + 2 . h . B + A/10$$

Equipment number merupakan fungsi *displacement*, *freeboard*, tinggi bangunan atas, ukuran utama kapal (L, B, dan T) dan luasan penampang samping lambung yang ada di atas garis air.

Hasil perhitungan *Z Number* pada *Dual Fuel LNG Carrier* dapat dilihat pada Tabel V.9 di bawah ini. (Biro Klasifikasi Indonesia, 2014)

Tabel V.9. Perhitungan Z *Number*

Z	=	710.0		
STOCKLESS ANCHOR (Bower)				
Anchor				
Number	=	2	Units	
Weight per	=	2.1	ton	
Chain				
Total Length	=	440	m	
Diameter	=	46	(K1)	
		40	(K2)	
		36	(K3)	
Towline				
Length	=	190	m	
Br Load	=	405	kN	
Mooring ropes				
Number	=	4	units	
Length	=	160	m	
Br Load	=	160	kN	

Dari Tabel V.9 dapat dilihat bahwa persyaratan minimal untuk *Dual Fuel LNG Carrier* ini adalah untuk menggunakan **2 buah jangkar** di haluan kapal (*bower*) dengan berat masing-masing jangkar adalah **2100 kilogram**. Jangkar yang digunakan merupakan jenis *stockless anchor* seperti pada Gambar V.20 di bawah ini.

Gambar V.6. *Stockless Anchor*

V.4.6. Perhitungan Berat Peralatan dan Perlengkapan

Perhitungan berat peralatan dan perlengkapan pada *Dual Fuel LNG Carrier* dilakukan dengan rumus pendekatan penyebaran *outfitting* (Parsons, 2001) dan berat *outfitting* khusus untuk *LNG Carrier* seperti berat tangki *LNG* dan sebagainya. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel V.10. di bawah ini.

Tabel V.10. Perhitungan Berat Peralatan dan Perlengkapan Kapal

The specific volumetric and unit area weights are:							
For small and medium sized cargo ships:					160 – 170	kg/m2	
For large cargo ships, large tankers, etc:					180 – 200	kg/m2	
					160	kg/m^2	
	POOP				**FORECASTLE**		
	L_{poop} =	16.800	m		$L_{forecasle}$ =	7.200	m
	B_{poop} =	14.000	m		$B_{forecastle}$ =	14.000	m
	A_{poop} =	235.200	m^2		$A_{forecastle}$ =	100.800	m^2
	W_{poop} =	37.632	ton		$W_{forecastle}$ =	16.128	ton
	DECKHOUSES						
	DH I				**DH II**		
	$L_{DH\ I}$ =	15.000	m		$L_{DH\ II}$ =	12.000	m
	$B_{DH\ I}$ =	12.000	m		$B_{DH\ II}$ =	12.000	m
	$A_{DH\ I}$ =	180.000	m^2		$A_{DH\ II}$ =	144.000	m^2
	$W_{DH\ I}$ =	28.800	ton		$W_{DH\ II}$ =	23.040	ton
	DH III				**Wheel House**		
	$L_{DH\ III}$ =	9.000	m		L_{WH} =	6.000	m
	$B_{DH\ III}$ =	12.000	m		B_{WH} =	9.000	m
	$A_{DH\ III}$ =	108.000	m^2		A_{WH} =	54.000	m^2
	$W_{DH\ III}$ =	17.280	ton		W_{WH} =	8.640	ton
	W $_{Group\ III}$ =	114.240	ton	*; untuk persebaran E/O di deckhouse*			
	LNG Fuel Tank			**Cylindrical LNG Tank Type C**			
	23	ton		Wst =	1865	kN	
					186.5	ton	
			Wtank =		373.0	ton	
	Equipment and Outfitting Total Weight						
		527.5	ton				

Dapat dilihat pada Tabel V.10, berat peralatan dan perlengkapan total adalah **527,5 ton**.

V.4.7. Perhitungan Berat *Consumable*

Perhitungan berat *consumable* pada *Dual Fuel LNG Carrier* dilakukan dengan menghitung berat *crew*, bahan bakar *LNG*, bahan bakar konvensional (*MDF*) untuk mesin utama dan *genset*, minyak pelumas (*lubrication oil*), air bersih (*fresh water*) dan juga berat *provision*.

Tabel V.11. Perhitungan Berat *Consumable*

• Crew Weight			
$C_{C\&E}$ =	0.17	ton/person	21 prs
$W_{C\&E}$ =	3.570	ton	
• Fuel Oil (LNG)			
W_{FO}=	SFR * MCR * S/Vs*margin		
=	18.578	ton	
V_{FO} =	42.278	m3	
• Fuel Oil (MDF)			
Wfo total =	6.046	ton	
Vfo total =	7.07	m3	
• Genset Oil (MDF)			
W_{DO} =	7.477	ton	
V_{DO} =	17.139	m3	
• Lubrication Oil (ME dan AE)			
W_{LO} =	0.193	ton	
V_{LO} =	0.223	m3	
• Fresh Water			
Wfw total =	22.537	ton	
Vfw total =	22.537	m3	
• Provision and Store			
W_{PR} =	0.01	ton/(person.day)	
=	0.735	ton	
Wconsumable =		59.136	ton

Dapat dilihat pada Tabel V.11, berat peralatan dan perlengkapan total kapal adalah **59,136 ton**.

V.4.8. Perhitungan Titik Berat LWT dan DWT

Berat *Lightweight Tonnage* (LWT) merupakan berat kapal kosong dan terdiri dari berat baja kapal, berat konstruksi lambung kapal, berat permesinan, dan peralatan yang digunakan, sedangkan berat *Deadweight Tonnage* (DWT) terdiri dari berat muatan dan berat *consumables*. Hasil perhitungan berat dan titik berat LWT dan DWT dapat dilihat pada Tabel V.12. di bawah ini.

Tabel V.12. Perhitungan Titik Berat LWT dan DWT

Total Weight and Total Centers Estimation				
1. Light Weight Tonnes (LWT)				
• Steel Weight				
		$W_{ST=}$	1121.225	ton
		$KG_{ST=}$	3.834	m
		LCG_{ST} FP=	46.721	m
• Equipment & Outfitting Weight				
		$W_{E\&O=}$	527.52	ton
		$KG_{E\&O=}$	7.455	m
		$LCG_{E\&O}$ FP=	70.028	m
• Machinery Weight				
		$W_{M=}$	60.019	ton
		$KG_{M=}$	2.750	m
		LCG_{M} FP=	84.600	m
2. Dead Weight Tonnes (DWT)				
• Consumable Weight				
		W_{consm}=	59.136	ton
		KG_{consm}=	4.628	m
		LCG_{consm} FP=	79.829	m
• Payload				
		$W_{payload}$=	1828	ton
		$KG_{Payload}$=	6.55	m
		$LCG_{Payload}$ FP=	39.000	m
Total Weight				
		Total weight= LWT + DWT=	3595.9	ton
		KG Total=	5.853	m
		LCG Total (FP)=	46.1	m
		Total LWT =	**1708.763**	**ton**
		Total DWT =	**1887.136**	**ton**

V.4.9. Perhitungan Margin *Displacement* dan Berat Kapal

Tabel V.13. Perhitungan Selisih *Displacement* dan Berat Kapal

Lwl=	99.84 m	Cb=	0.765
B=	14 m	ɣ=	1.025 ton/m3
T=	3.5 m		
	Displacement (LwlxBxTxCbx ɣ)=	**3838.085**	**ton**
	LWT + DWT =	**3596**	**ton**
Perhitungan :			
	Selisih Displacement & Berat Kapal =	242.19	ton
	Selisih dalam % =	6.735%	
	Kondisi =	**Accepted**	(Batasan kondisi= 2 - 10%)

Berat kapal terdiri dari dua komponen, yaitu komponen DWT (*Dead Weight Tonnage*) dan komponen LWT (*Light Weight Tonnage*). Dari perhitungan yang dilakukan pada Tabel V.13., dapat dilihat bahwa **LWT+DWT < Displacement** sehingga dapat disimpulkan kapal berhsail **mengapung** dan juga didapatkan margin berat kapal sebesar **6,735%**. Margin maksimal berat kapal yang diijinkan adalah 10%, sehingga perhitungan berat kapal **diterima**.

V.4.10. Perhitungan Tonase Kapal

Perhitungan tonase kapal dilakukan dengan menghitung tonase kotor (*Gross Tonnage*) dan tonase bersih (*Net Tonnage*) kapal. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel V.14. di bawah ini.

Tabel V.14. Perhitungan Tonase Kapal

Gross Tonnage				
GT=	**3610.95**	ton		
Net Tonnage				
a=	$K_2 * V_C * (4d/3D)^2$			
	1216.025	ton		
	a ≥ 0.25GT =		**0.25 GT =**	902.7385626
NT=	$a + K_3*(N_1 + N_2 / 10)$			
	1222.660	ton		
	NT ≥ 0.30GT		**0.30 GT =**	1083.286275

Dapat dilihat pada Tabel V.14 bahwa perhitungan tonase kapal sesuai dengan persyaratan *Tonnage Measurement* (International Maritima Organization, 1969) yaitu dengan tonase kotor kapal sebesar **3610,95** ton (GT) dan tonase bersih kapal sebesar **1222,66 ton** (NT).

V.4.11. Perhitungan *Freeboard*

Lambung timbul atau *freeboard* merupakan daya apung cadangan kapal dan memiliki dampak langsung terhadap keselamatan, baik keselamatan *crew*, muatan, dan kapal itu sendiri. Besarnya nilai *freeboard* diukur dari jarak secara vertikal pada bagian midship kapal dari tepi garis geladak hingga garis air di area midship. Dalam peraturan, perhitungan nilai *freeboard* dibedakan menjadi dua tipe sesuai dengan jenis dan kriteria kapal. *Dual Fuel LNG Carrier* ini merupakan kapal tipe A (muatan cair).

Perhitungan lambung timbul secara rinci dapat dilihat pada lampiran perhitungan lambung timbul dan pada Tabel V-16 merupakan rekapitulasi perhitungan lambung timbul yang mengacu pada *freeboard* Tabular A.

Tabel V.15. Koreksi *Freeboard*

Komponen Koreksi		*Freeboard*	
Freeboard Standard	Fb 1	1137.8	mm
Fb koreksi Cb	Fb 2	0	mm
Fb Koreksi *Depth*	Fb 3	0	mm
Fb Koreksi SuperSt.	Fb 4	-190.8	mm
Total *Freeboard* min	Fb'	**947**	**mm**

Dari Tabel V.15. dapat diketahui hasil perhitungan *freeboard* minimal kapal adalah sebesar 683 mm atau 0,683 m. Pada ukuran utama awal kapal telah ditentukan tinggi kapal (H) sebesar 6 m dan sarat kapal (T) sebesar 3,5 m sehingga dapat diketahui *freeboard* sebenarnya kapal, yaitu sebesar 2,5 m (H-T). Besar *freeboard* sebenarnya kapal (2,5 m) lebih besar dibandingkan dengan *freeboard* minimal (0,683 m) sehingga ukuran *freeboard* kapal telah **memenuhi** pemeriksaan *freeboard*.

V.4.12. Penentuan *Loadcase*

Loadcase ditentukan berdasarkan kondisi kapal untuk setiap pelayaran atau rute. Setiap rute memiliki jarak pelayaran dan kebutuhan *LNG* yang berbeda-beda. Sehingga didapat *loadcase* untuk *LNG Carrier* seperti yang dapat dilihat pada Tabel V.16. berikut.

Tabel V.16. Penentuan *Loadcases*

Item/Loadcase	LC 1	LC 2	LC 3	LC 4	LC 5	LC 6
Lightship (ton)	1708	1708	1708	1708	1708	1708
LNG NO.1	100%	42%	32.50%	17%	5.50%	0%
LNG NO.2	100%	42%	32.50%	17%	5.50%	0%
LNGPac	100%	61%	52%	48%	41%	10%
Ballast DB 1	0%	0%	0%	0%	0%	0%
MDO Tank	100%	96%	95%	95%	94%	70%
AP Tank	0%	0%	0%	0%	0%	0%
FW Tank	100%	80%	60%	40%	20%	5%
FP Tank	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Wing Tank SB	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Wing Tank PS	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ballast DB 2	100%	100%	100%	0%	0%	0%
Sewage Tank	0%	20%	40%	60%	80%	95%
Lube Oil Tank	100%	80%	60%	40%	20%	10%

V.4.13.Perhitungan *Trim*

Trim adalah perbedaan tinggi sarat kapal antara sarat depan dan belakang. Sedangkan *even keel* merupakan kondisi di mana sarat belakang Tb dan sarat depan Ta adalah sama. *Trim* terbagi dua yaitu:

1. *Trim* haluan
2. *Trim* buritan

Adapun batasan untuk *trim* didasarkan pada selisih harga mutlak antara LCG dan LCB dengan batasan ≤ 0,5% Lpp. Untuk detail perhitungan pemeriksaan sarat dan *trim* kapal dapat dilihat pada Tabel V.17.

Tabel V.17. Hasil Perhitungan Trim

No.	Loadcases	Batasan (m)	Nilai (m)	Status
1	LC 1	0.48	0.115	Diterima
2	LC 2	0.48	0.009	Diterima
3	LC 3	0.48	0.099	Diterima
4	LC 4	0.48	0.072	Diterima
5	LC 5	0.48	0.060	Diterima
6	LC 6	0.48	0.028	Diterima

Kondisi *trim* kapal pada semua *loadcase* telah **memenuhi** kriteria.

V.4.14. Perhitungan Stabilitas

Kapal yang akan dibangun harus dapat dibuktikan secara teoritis bahwa kapal tersebut memenuhi standard keselamatan pelayaran *Safety of Life at Sea* (SOLAS) atau *International Maritime Organization* (IMO). Perhitungan stabilitas dilakukan dengan bantuan software *Maxsurf Stability Enterprise Education Version.* Kriteria stabilitas yang digunakan dalam perhitungan *software* adalah IS Code 2008. Tabel V.18. merupakan rangkuman hasil perhitungan yang telah dibandingkan dengan batasannya:

Tabel V.18. Hasil Perhitungan Stabilitas

Data	Loadcase I	Loadcase II	Loadcase III	Loadcase IV	Loadcase V	Loadcase VI	Kriteria IMO	Kondisi
$e_{0-30°}$ (m.deg)	21.669	14.335	14.906	22.528	22.406	31.518	≥ 3.1513	**Diterima**
$e_{0-40°}$ (m.deg)	35.990	27.505	27.719	36.402	31.554	50.597	≥5.1566	**Diterima**
$e_{30-40°}$ (m.deg)	14.321	13.169	12.813	13.874	9.1481	19.079	≥ 1.7189	**Diterima**
$h_{30°}$ (m.deg)	1.448	1.569	1.493	1.423	1.349	1.973	≥ 0.2	**Diterima**
θ_{max} (deg)	33.6	49.5	50	49.5	31.4	50	≥ 25	**Diterima**
GM_0 (m)	2.522	0.249	0.241	2.82	3.097	4.128	≥ 0.15	**Diterima**

Keterangan:

- $e_{0-30°}$ adalah luas bidang dibawah kurva lengan statis (GZ) sampai 30° sudut oleng,
- $e_{0-40°}$ adalah luas bidang dibawah kurva lengan statis (GZ) sampai 40° sudut oleng,
- $e_{30-40°}$ adalah luasan bidang yang terletak di bawah lengkung lengan statis (GZ) diantara sudut oleng 30° dan 40°
- $h_{30°}$ adalah lengan statis (GZ) pada sudut oleng > 30°.
- θ_{max} adalah sudut dimana lengan stabilitas statis (GZ) maksimum terjadi.
- GM_0 adalah tinggi metacentre (MG) pada sudut oleng 0°.

V.5. Machinery Arrangement

V.5.1. Pemilihan Mesin *Dual Fuel*

Berdasarkan hasil perhitungan propulsi pada sub-Bab V.4.2., sebesar **1769,5 HP**, maka dapat dilakukan pencarian katalog mesin yang sesuai dengan kebutuhan daya propulsi kapal (Wartsila, 2016).

Table 1-1 Rating table for Wärtsilä 20DF

Engine type	Main Engines		Generating sets			
	1200 rpm		1000 rpm		1200 rpm	
	kW	BHP	Engine [kW]	Generator [kVA]	Engine [kW]	Generator [kVA]
Wärtsilä 6L20DF	1056	1440	876	1050	1056	1270
	1110	1510	960	1150	1110	1330
Wärtsilä 8L20DF	1408	1920	1168	1400	1408	1690
	1480	2010	1280	1540	1480	1780
Wärtsilä 9L20DF	1584	2150	1314	1580	1584	1900
	1665	2260	1440	1730	1665	2000

Gambar V.7. Katalog MCR *Wartsila* 20DF
Sumber: Wartsila, 2016

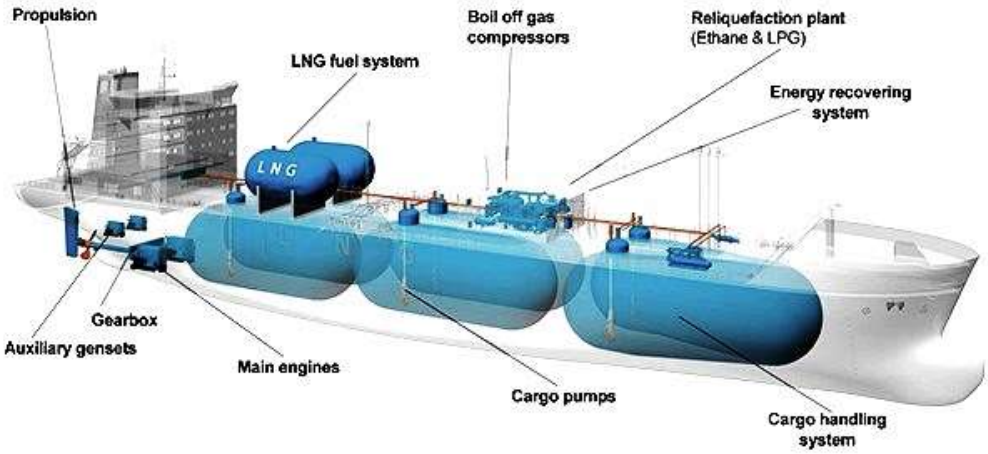
Seperti yang dapat dilihat pada Gambar V.7, Wartsila 8L20DF memiliki BHP yang cocok dengan BHP yang dibutuhkan oleh *Dual Fuel LNG Carrier* yaitu sebesar **1920 BHP.**

V.5.2. Proses Pembakaran *LNG*

Bahan bakar gas (*LNG*) masuk melalui pipa *intake* bersamaan dengan percikan bahan bakar konvensional (*MDF*/*HFO*) sebagai pemicu (*pilot fuel*) pembakaran di dalam mesin *dual fuel* seperti yang dapat dilihat pada Gambar V.8. BBG di*intake* bersamaan dengan sejumlah kecil BBM sehingga dapat dilakukan pembakaran pada mesin.

Gambar V.8. Proses *Intake* Bahan Bakar pada Sistem *Dual Fuel*
Sumber: Wartsila, 2016

V.5.3. Cara Kerja *Dual Fuel Engine*



Gambar V.9. Skema *Dual Fuel Vessel*
Sumber: Wartsila, 2016

Setelah mengetahui proses pembakaran yang terjadi, berikut merupakan serangkaian proses *dual fuel system* pada *LNG Carrier*:

- Kapal mengangkut dua jenis *LNG* yang difungsikan sebagai muatan dan bahan bakar. Muatan *LNG* yang dibawa akan menghasilkan *boil-off gas* (*BOG*) yang akan menguap di dalam tangki muatan. *BOG* ini akan mengganggu kestabilan suhu dan tekanan pada tangki muatan, sehingga *BOG* ini akan dialirkan ke dalam tangki bahan bakar *LNG* (*LNGPac©*) untuk menjaga kestabilan tekanan dan suhu pada tangki muatan serta menambah *supply* dari bahan bakar *LNG* itu sendiri.
- Dari tangki bahan bakar *LNG*, kemudian bahan bakar gas dialirkan kedalam Kamar Mesin melalui pipa khusus bertekanan (*pressurized pipe*), menuju *Gas Valve Unit* (*GVU*) hingga ke mesin penggerak utama kapal (Wartsila© 8L20DF). *GVU* ini berfungsi menjaga densitas BBG itu sendiri. *GVU* yang digunakan merupakan produk dari Wartsila.
- Pada mesin penggerak utama (Wartsila 8L20DF) terjadi pembakaran BBG dan BBM sehingga mesin dapat bergerak memutar poros dan *propeller*.

V.6. Skenario Sistem Penggerak Kapal

Tabel V.19. Skenario Mode Penggerak *Dual Fuel LNG Carrier*

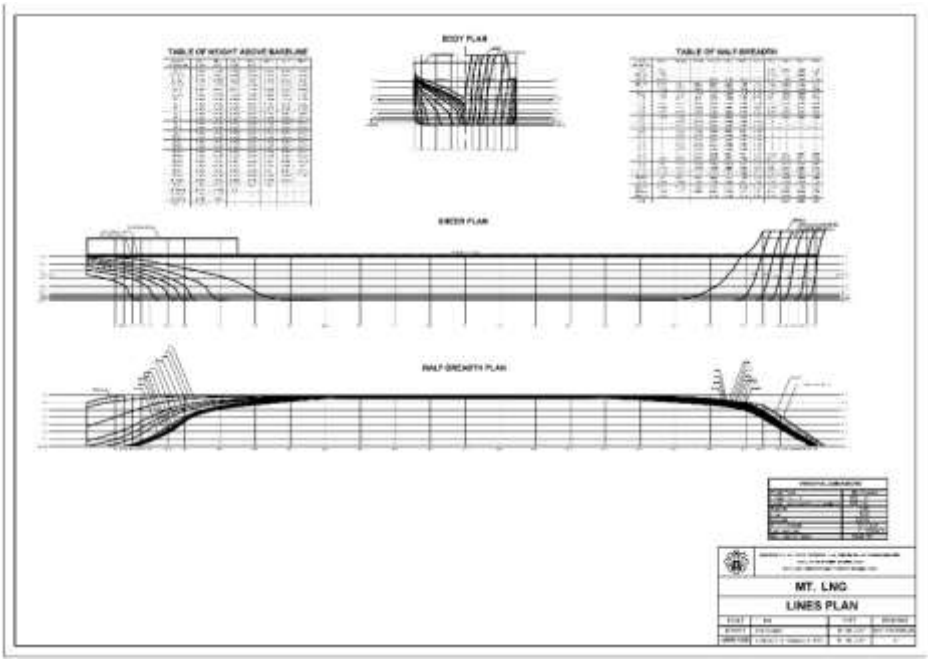
Gas Mode	Diesel Mode	Backup Mode
		
Sebagai tenaga penggerak utama kapal.	Dioperasikan sebanyak 5 kali saat kapal akan bersandar di pelabuhan/terminal.	Dioperasikan hanya pada saat keadaan darurat dimana mesin tidak dapat beroperasi pada mode *dual fuel*.

Pada dasarnya bahan bakar gas hanya dapat digunakan pada tenaga puncak (*peaker*). Untuk menggerakkan mesin kapal pada tenaga awal tetap membutuhkan bahan bakar minyak atau bahan bakar konvensional misalnya seperti saat akan bersandar maupun saat akan berlayar. Sehingga dapat dirancang skenario dalam pemilihan mode mesin *dual fuel* seperti yang dapat dilihat pada Tabel V.19 (Wartsila, 2016).

V.7. Pembuatan *Lines Plan*

Dalam proses desain *Dual Fuel LNG Carrier* ini, pembuatan rencana garis dengan mnggunakan *software Maxsurf Modeler* dan menggunakan bantuan *sample design* yang sudah tersedia. *Sample design* tersebut diatur sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik yang sama dengan hasil tertentu (memiliki ukuran utama, *displacement*, CB, C_P, dan LCB yang sama).

Untuk melihat mulus atau tidaknya permukaan desain, didalam *Maxsurf Modeler* telah disediakan pandangan dari beberapa sudut, yaitu tampak depan/belakang, tampak samping, tampak atas dan pandangan perspektif. Garis-garis dari berbagai sudut pandang itulah yang nantinya akan dijadikan sebagai rencana garis. Gambar V.10 merupakan gambar dari model yang telah dibuat.

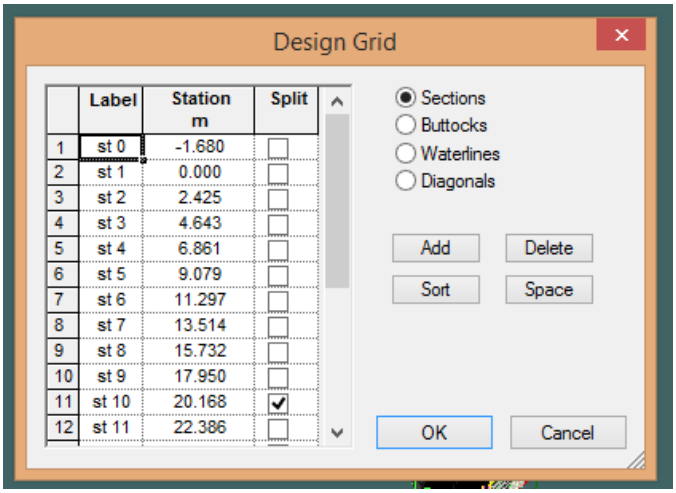


Gambar V.10. *Lines Plan*

Setelah *sample design* dibuka, langkah selanjutnya adalah menentukan panjang, lebar, dan tinggi dari model yang dibuat. Caranya dengan mengubah ukuran *surface* pada menu *surface* > *size suface* seperti pada Gambar V.10.

Gambar V.11. Menu *Size Surfaces*

Untuk panjang diisi dengan Loa kapal, agar Lpp dapat sesuai dengan perhitungan. lebar dan tinggi disamakan dengan hasil perhitungan. Sedangkan untuk mengatur jumlah dan letak dari station, *Buttock line* dan *Water line*, dengan mengakses *menu data* > *design grid* dan akan muncul kotak dialog seperti pada Gambar V.12.



Gambar V.12. Pengaturan Jumlah *Station*

Setelah ukuran sesuai kemudian ditentukan sarat dari model ini. Untuk memasukkan nilai sarat kapal dilakukan dengan mengakses *menu data* > *frame of reference*. Pada Gambar tampak panjang Lwl kapal.

Setelah sarat kapal ditentukan selanjutkan dilakukan pengecekkan nilai hidrostatik dari model yang dibuat, yaitu dengan mengakses *menu data* > *calculate hydrostatic*. Dari sini akan tampak data-data hidrostatik model. Jika data belum sesuai dengan perhitungan maka perlu dilakukan perubahan terhadap model.

Namun ketika data hidrostatik telah sesuai maka model ini dapat langsung diexport ke format *dxf* untuk di perbaiki dengan software *CAD*.

Untuk menyimpan rencana garis dari model yang telah dibuat, buka salah satu pandangan dari model, kemudian klik *file* > *export* > DXF and IGES, atur skala 1:1, kemudian *klik ok* dan *save file* baru tersebut. Cara ini berlaku untuk semua pandangan dari model.

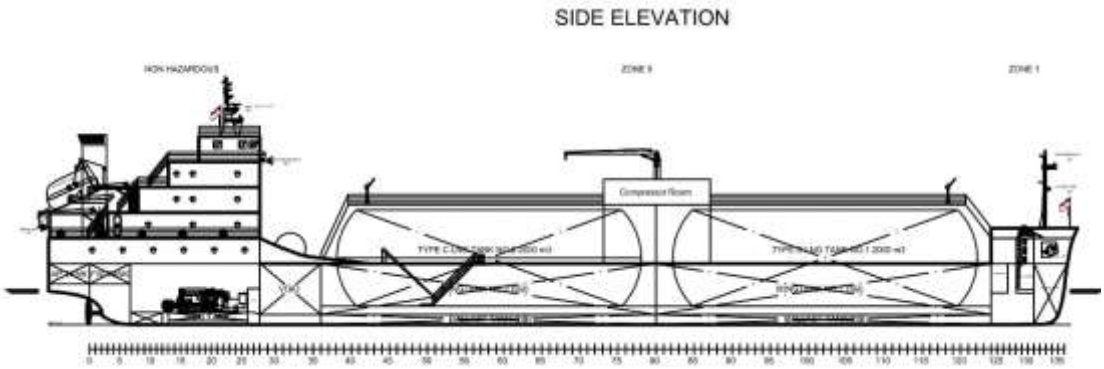
Setelah didapatkan *body plan*, *sheer plan* dan *half-breadth plan*, langkah selanjutnya adalah menggabungkan ketiganya dalam satu *file* .dwg yang merupakan output dari *software CAD*. Dalam proses penggabungan juga dilakukan sedikit penyuntingan pada rencana garis yang telah didapat.

V.8. Pembuatan *General Arrangement*

Dari gambar *Lines Plan* yang sudah di buat, maka dapat dibuat pula gambar *General Arrangement* dari *Dual Fuel LNG Carrier* ini. *General Arrangement* didefinisikan sebagai perencanaan ruangan yang dibutuhkan sesuai dengan fungsi dan perlengkapan kapal. Pembuatan *General Arrangement* dilakukan dengan bantuan *software AutoCAD* 2016.

V.8.1. *Profile View*

Pada pemodelan rencana umum dilakukan pemroyeksian *layout* kapal tampak samping. Jarak gading pada kapal ini adalah 0,6 m untuk di bagian Kamar Mesin dan Ceruk Haluan dan 0,75 m di bagian ruang muat. Detail pemodelan rencana umum tampak samping dapat dilihat pada Gambar V.13 berikut.



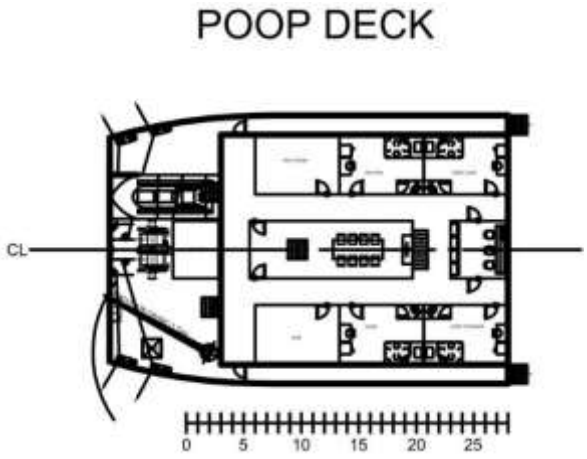
Gambar V.13. *Profile View* dari *Dual Fuel LNG Carrier*

Dapat dilihat pada Gambar V.11. bahwa *Dual Fuel LNG Carrier* memiliki lima buah *deck house* yaitu *Poop Deck, Boat Deck, Bridge Deck, Navigation Deck* dan *Compass Deck.*

Dual Fuel LNG Carrier memiliki 1 buah *totally enclosed freefall lifeboat* pada bagian buritan dan 1 buah *rescue boat*.

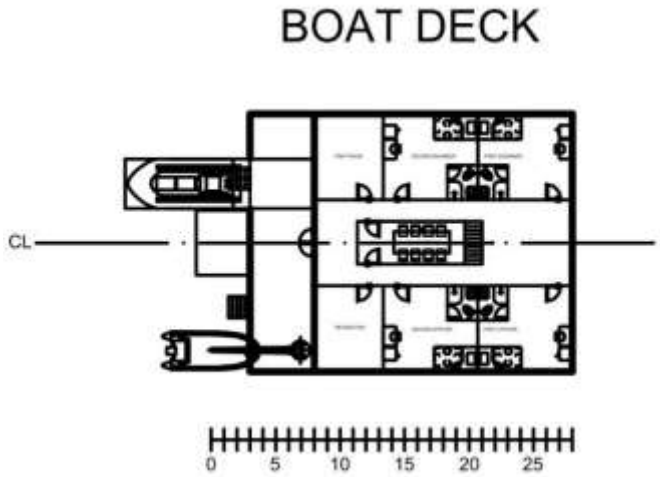
V.8.2. Rumah Geladak (*Deckhouses)*

Layout rumah geladak pada rencana umum diproyeksikan tampak atas. Pada bagian ini pemodelan *layout* dilakukan pada setiap *layer* geladak. Geladak tersebut terdiria dari *poop deck, boat deck, bridge deck, navigation deck* dan *top deck* seperti pada Gambar V.14. sampai dengan Gambar V.18.



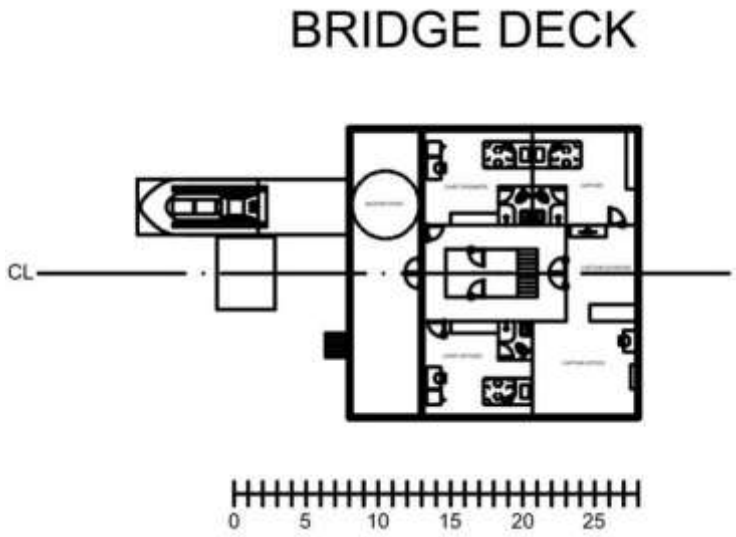
Gambar V.14. *Poop Deck*

Gambar V.14. merupakan *Poop Deck* pada *Dual Fuel LNG Carrier*. Lantai ini berfungsi sebagai *deckhouse* yang berisi kamar tidur *seafarer* seperti *Cook*, *Steward* dan Dokter. Pada *poop deck* juga terdapat *cargo control room* dimana seluruh aktivitas peralatan pada ruang muat terpantau. Di bagian luar *poop deck* juga terdapat beberapa peralatan seperti *provision crane*, *windlass* dan *mooring lines equipment*.



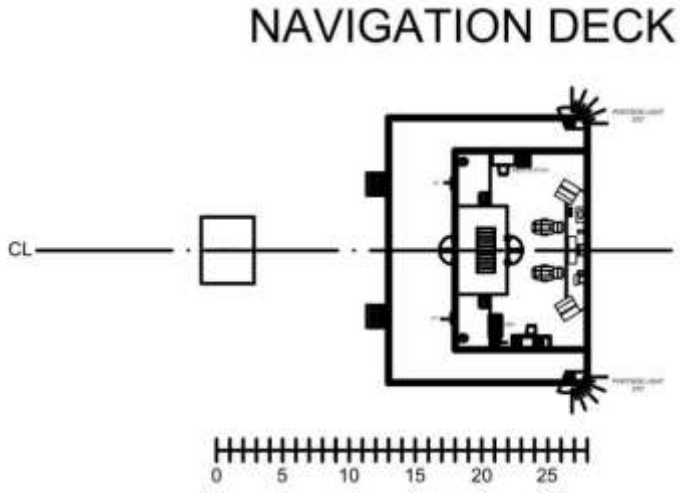
Gambar V.15. *Boat Deck*

Gambar V.15. merupakan *Boat Deck* pada *Dual Fuel LNG Carrier*. Lantai ini berfungsi sebagai *deckhouse* yang berisi kamar tidur *ship's officer* seperti *First Officer*, *Second Officer*, *First Engineer* dan *Second Engineer*. Pada *boat deck* juga terdapat kantor *boat deck* dan juga *rescue boat*.



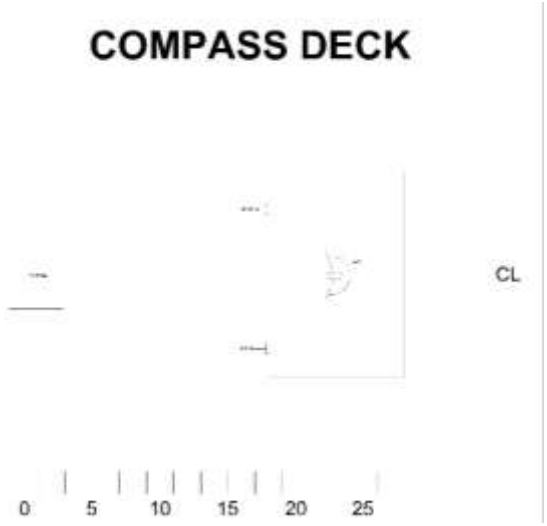
Gambar V.16. *Bridge Deck*

Gambar V.16. merupakan *Bridge Deck* pada *Dual Fuel LNG Carrier*. Lantai ini berfungsi sebagai *deckhouse* yang berisi kamar tidur *ship's officer* seperti *Captain*, *Chief Engineer* dan juga *Chief Officer*. Pada *bridge deck* juga terdapat *muster point* atau titik berkumpul saat ada keadaan darurat dan *platform free fall lifeboat*.



Gambar V.17. *Navigation Deck*

Gambar V.17. merupakan *Navigation Deck* pada *Dual Fuel LNG Carrier*. Lantai ini berfungsi sebagai kantor utama para *ship's officer*. Pada *Navigation deck* terdapat peralatan-peralatan yang berhubungan dengan navigasi dan komunikasi seperti *Radar* dan sebagainya.

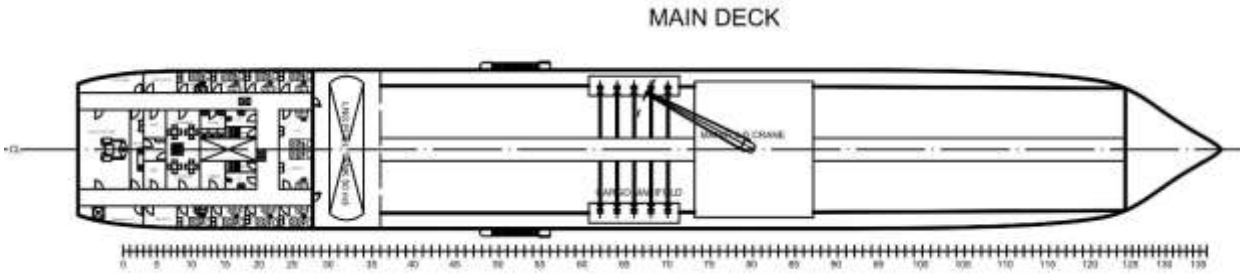


Gambar V.18. *Compass Deck*

Gambar V.18. merupakan *Compass Deck* pada *Dual Fuel LNG Carrier*. Seperti namanya, *deck* ini merupakan *deck* tertinggi pada kapal dan terdapat lampu navigasi atau *masthead light* dan juga *antenna* untuk kebutuhan komunikasi dan navigasi.

V.8.3. Geladak Utama *(Main Deck)*

Layout geladak utama (*main deck)* pada rencana umum *Dual Fuel LNG Carrier* ini diproyeksikan pada pandangan atas seperti pada Gambar V.18.

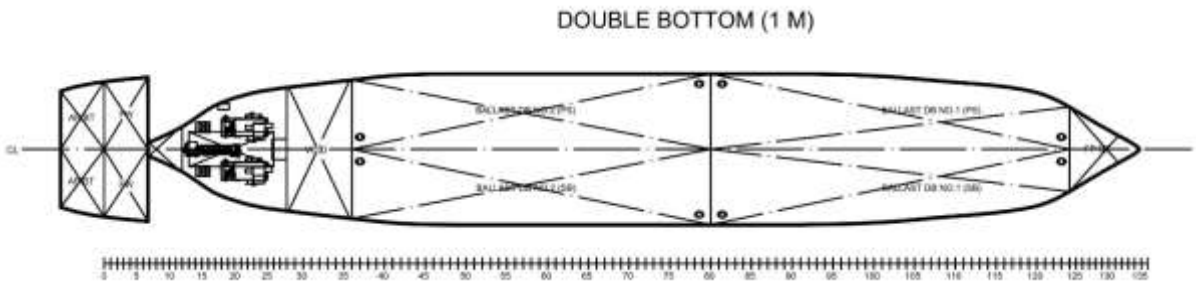


Gambar V.19. *Main Deck* dari *Dual Fuel LNG Carrier*

Gambar V.19. merupakan *main deck* pada *Dual Fuel LNG Carrier*. *Main deck* merupakan tempat beraktivitas utama pada kapal ini. Di tengah-tengah *main deck* terdapat *cargo manifold* yang berfungsi sebagai jalur masuk keluarnya *LNG* dan *compressor room* yang berfungsi sebagai ruangan dimana terdapat peralatan-peralatan yang berhubungan dengan pengawasan tekanan dan suhu pada ruang muat.

V.8.4. *Double Bottom*

Layout double bottom pada rencana umum *Dual Fuel LNG Carrier* diproyeksikan pada pandangan atas seperti pada gambar V.20.

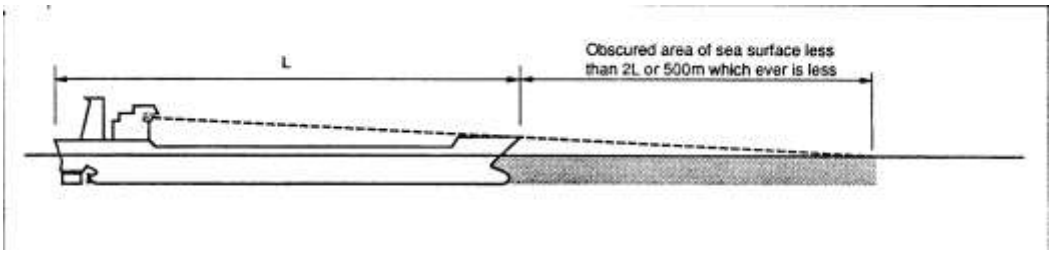


Gambar V.20. *Double Bottom Dual Fuel LNG Carrier*

Double bottom difungsikan sebagai tangki *ballast*, tangki bahan bakar *MDF*, tangki minyak pelumas dan juga tangki pembuangan (*sewage*).

V.9. Pemeriksaan *Navigation Bridge Visibility*

Menurut SOLAS Reg. V/22, kapal dengan panjang keseluruhan (Loa) 45 meter atau lebih yang dibangun pada atau sesudah 1 Juli 1998, pandangan terhadap permukaan laut dari posisi navigasi kapal tidak lebih dari dua kali panjang kapal (Loa), atau 500 meter, diambil yang lebih kecil. Ketentuan ini untuk memastikan keleluasaan pandangan kapal terhadap kapal lain dengan ukuran lebih kecil yang kemungkinan ada di depan kapal, sehingga menghindar terjadinya tabrakan (Kurniawati, H.A., 2009).



Gambar V.21. Regulasi *Navigation Bridge Visibility*

Gambar V.22. *Navigation Bridge Visibility* pada *Dual Fuel LNG Carrier*

Pada Gambar V.22 dapat dilihat bahwa jarak pandang dari *navigation deck* kapal tidak melebihi dua kali panjang keseluruhan kapal (2 x Loa) sehingga persyaratan SOLAS Reg. V/22 tentang jarak pandang anjungan kapal telah **terpenuhi**.

V.10. Pemodelan Tiga Dimensi

Setelah dilakukan pemodelan rencana umum, selanjutnya pemodelan 3D dapat dilakukan dengan pemroyeksian sesuai dengan rencana umum. Pengerjaan pemodelan 3D dibantu dengan dua *software* yaitu *Bentley Maxsurf* dan *Autodesk Fusion 360.*

Pada tahap awal pemodelan lambung menggunakan *software Maxsurf Modeler* dan menggunakan bantuan *sample design* yang sudah tersedia.

Sample design tersebut diatur sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik yang sama dengan hasil tertentu (memiliki ukuran utama, *displacement,* CB, C_P, dan LCB yang sama). Setelah *sample design* dibuka, langkah selanjutnya adalah menentukan panjang, lebar, dan tinggi dari model yang dibuat.

Pada proses pengerjaan pemodelan 3D pada lambung dengan menggunakan *Maxurf Modeler* ini didapatkan bentuk model *hull,* dan *main deck.*

Gambar V.23. Tampak Depan *Isometric*

Gambar V.24. Tampak Belakang *Isometric*

Gambar V.25. Tampak Atas *Isometric*

Proses pengerjaan selanjutnya adalah pemodelan bangunan atas dan beberapa detail pada bagian *main deck*. Proses ini dikerjakan dengan dibantu *software Fusion 360*.

Pengerjaan ini dilakukan dengan mengeksport gambar lambung kapal yang telah dibuat pada *softtware Maxsurf* menjadi bentuk DXF atau 3D kemudian meng-*import* pemodelan 3D lambung yang telah dibuat sebelumnya pada *softtware Maxsurf* ke *software Fusion 360*. Pada *software Fusion 360* dilakukan pemodelan 3 dimensi secara utuh dengan menu *loft* dan *shape* lainnya sehingga didapatkan model 3 dimensi yang sesuai dengan *General Arrangement*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI
ANALISIS EKONOMIS

VI.1. Perhitungan Estimasi Biaya Pembangunan Kapal

Untuk membangun sebuah kapal diperlukan banyak plat yang digunakan untuk memenuhi akomodasi, lambung, dan konstruksi kapal. Kuantitas berat total plat inilah yang menentukan besarnya biaya kapal. Selain itu faktor yang mempengaruhi besarnya harga kapal adalah permesinan yang digunakan, perlengkapan dan peralatan. Sehingga dari perhitungan yang telah dibuat dapat ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel VI.1. Estimasi Biaya Pembangunan Kapal

Biaya Pembangunan			
No	**Item**	**Value**	**Unit**
1	**Baja Kapal & Elektroda**	**1074457**	**USD**
2	**Equipment & Outfitting**	**7704005**	**USD**
3	**Tenaga Penggerak**	**407000**	**USD**
Total Harga (USD)		**9185461**	**USD**
Kurs Rp - USD (per 22 Juni 2017, BI)		**13386**	**Rp/USD**
Total Harga (Rupiah)		**122,956,585,695**	**Rp**
Biaya Koreksi Keadaan Ekonomi dan Kebijakan Pemerintah			
sumber: Tugas Akhir "Studi Perancangan Trash-Skimmer Boat Di Perairan Teluk Jakarta", 2012			
No	**Item**	**Value**	**Unit**
1	**Keuntungan Galangan**		
	20% dari biaya pembangunan awal		
	Keuntungan Galangan	24,591,317,139.16	**Rp**
2	**Biaya Untuk Inflasi**		
	2% dari biaya pembangunan awal		
	Biaya Inflasi	2,459,131,713.92	**Rp**
3	**Biaya Pajak Pemerintah**		
	10% dari biaya pembangunan awal		
	Biaya Dukungan Pemerintah	12,295,658,569.58	**Rp**
Total Biaya Koreksi Keadaan Ekonomi		**39,346,107,422.65**	**Rp**
=	Biaya Pembangunan + Profit Galangan + Biaya Inflasi + Bantuan Pemerintah		
=	122,956,585,696 + 24,591,317,139 + 2,459,131,714 + 12,295,658,570		
=	**Rp162,302,693,118**		

Dari Tabel VI.1 dapat dilihat bahwa estimasi biaya pembangunan *Dual Fuel LNG Carrier* adalah sebesar **$12,124,809** atau setara dengan **Rp 162.302.693.118**. Perhitungan detail biaya pembangunan kapal dilihat pada lampiran.

VI.2. Perhitungan Estimasi *Break-Even Point* (BEP)

VI.2.1. Biaya Operasional

Biaya operasional merupakan biaya yang harus dikeluarkan *owner* kapal secara rutin. Pada Tugas Akhir ini, perhitungan biaya operasional ditentukan untuk biaya rutin yang harus dikeluarkan *owner* kapal setiap tahun. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya biaya operasional di antaranya biaya perawatan kapal, asuransi, gaji kru kapal, cicilan pinjaman bank, *port charges*, serta biaya bahan bakar. Untuk lebih jelasnya, nominal biaya operasional *Dual Fuel LNG Carrier* dapat dilihat pada Tabel VI.2 di bawah ini.

Tabel VI.2. Perhitungan Biaya Operasional Kapal

Operational Cost		
Bank Mandiri		
Pinjaman Bank		
Biaya	**Nilai**	**Unit**
Building Cost	162,302,693,118	Rp
Pinjaman dari Bank	65%	
Pinjaman	105,496,750,527	Rp

Cash Loan

Kredit Investasi

Kredit investasi adalah kredit jangka menengah/panjang yang diberikan kepada (calon) debitur untuk membiayai barang-barang modal dalam rangka rehabilitasi,modernisasi, perluasan ataupun pendirian proyek baru, misalnya untuk pembelian mesin-mesin, bangunan dan tanah untuk pabrik, yang pelunasannya dari hasil usaha dengan barang-barang modal yang dibiayai.

Ketentuan :

- Mempunyai Feasibility Study.
- Mempunyai izin-izin usaha, misalnya SIUP, TDP, dll.
- Maksimum jangka waktu kredit 15 tahun dan masa tenggang waktu (Grace Period) maksimum 4 tahun.
- Agunan utama adalah usaha yang dibiayai. Debitur menyerahkan agunan tambahan jika menurut penilaian Bank diperlukan.
- Maksimum pembiayaan bank 65% dan Self Financing (SF) 35%.

Bunga :

Suku bunga kredit 13,5 % *)

Bunga Bank	13.5%	Per tahun
Nilai Bunga Bank	14,242,061,321	Per tahun
Masa Pinjaman	5	Tahun
Pembayaran Cicilan Pinjaman	1	Per Tahun
Nilai Cicilan Pinjaman	35,341,411,427	Rp
Biaya Perawatan		
Diasumsikan 10% total dari building cost		
Total maintenance cost	Rp 16,230,269,312	per tahun
Asuransi		
Diasumsikan 2% total dari building cost		
Biaya asuransi	Rp 3,246,053,862	per tahun
Jumlah baterai	0	
Gaji Komplemen Kapal		
Jumlah komplemen kapal	19	
Gaji komplemen kapal per bulan	Rp 237,000,000	
Gaji komplemen kapal per tahun	Rp 2,844,000,000	
Pasokan LNG		
Biaya Pasokan LNG perbulan	Rp 2,064,600,000	
Biaya Pasokan LNG pertahun	Rp 24,775,200,000	
Fuel Oil		
Kebutuhan Bahan Bakar	24.20	m3/trip
Harga bahan bakar	Rp 5,150,000	per/m3
Harga bahan bakar	Rp 31,162,765.37	per hari
Harga bahan bakar	Rp 934,882,961	per bulan
Harga bahan bakar	Rp 11,218,595,534.77	per tahun
Bahan Bakar LNG		
Kebutuhan Bahan Bakar	42.28	m3/trip
Harga bahan bakar	Rp 103,230	per/m3

Harga bahan bakar	Rp	1,091,101.43	per hari
Harga bahan bakar	Rp	32,733,043	per bulan
Harga bahan bakar	Rp	392,796,515.05	per tahun
OPERATIONAL COST			
Biaya	**Nilai**		**Masa**
Cicilan Pinjaman	Rp	35,341,411,427	per tahun
Gaji Komplemen	Rp	2,844,000,000	per tahun
Biaya Perawatan	Rp	16,230,269,312	per tahun
Asuransi	Rp	3,246,053,862	per tahun
Pasokan LNG	Rp	24,775,200,000	per tahun
Fuel Oil	Rp	11,218,595,535	per tahun
Bahan Bakar LNG	Rp	392,796,515	per tahun
Total	Rp	94,048,326,651	per tahun

Dapat dilihat pada Tabel VI.2. bahwa total biaya pengeluaran *Dual Fuel LNG Carrier* adalah sebesar **Rp 94.048.326.651**.

VI.2.2. Estimasi Keuntungan Bersih

Setelah menghitung biaya pembangunan dan biaya operasional, maka dapat dihitung biaya keuntungan bersih seperti yang terangkum pada Tabel VI.3 di bawah ini.

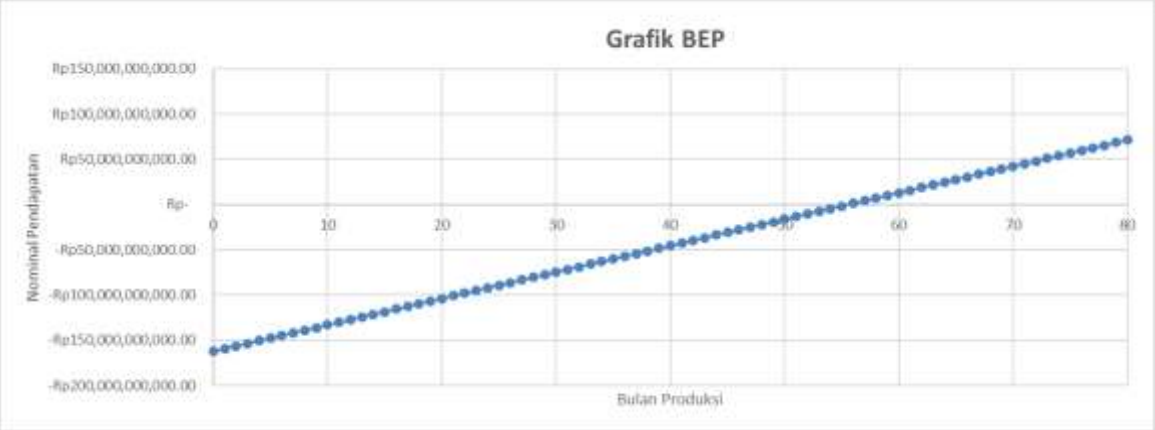
Tabel VI.3 Estimasi Keuntungan Bersih Kapal

Item	Nominal
Biaya Investasi	Rp162,302,693,118.43
Modal Bank 65%	Rp105,496,750,526.98
Hutang perbulan bunga 13.5%	Rp237,367,688.69
Keuntungan kotor	Rp28,036,845,085.13
Biaya Operasional (gaji)	Rp237,000,000.00
Biaya perawatan	Rp16,230,269,311.84
Biaya Takterduga 5 %	Rp1,401,842,254.26
Pajak penghasilan Usaha 25%	Rp7,009,211,271.28
Keuntungan Bersih	**Rp2,921,154,559.06**

Dari Tabel VI-3 dapat dilihat bahwa keuntungan bersih yang didapatkan dari kapal setiap bulannya adalah **Rp 2.921.154.559.**

VI.2.3. Perhitungan *Break-Even Point* (*BEP*)

Dari perhitungan pada sub-Bab VI.2 sebelumnya, dapat dilihat bahwa estimasi biaya pembangunan kapal adalah sebesar **Rp 162.302.693.118** dan estimasi keuntungan bersih kapal setiap bulannya adalah **Rp 2.921.154.559**. Dari kedua estimasi tersebut maka dapat dilakukan perhitungan terjadinya *Break-Even Point*. Dalam kondisi ideal, semakin cepat terjadinya *BEP* semakin baik juga. Namun, pada kenyataannya *BEP* memakan waktu yang cukup lama berbanding lurus dengan biaya produksi yang dikeluarkan.



Grafik VI.1. *Break-Even Point* (BEP)

Dapat dilihat pada Grafik VI.1. di atas bahwa *BEP* terjadi pada bulan ke 56 atau pada tahun ke 4.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VII
KESIMPULAN DAN SARAN

VII.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan beberapa penelitian dan perhitungan, maka kesimpulan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan ukuran utama *Dual Fuel LNG Carrier* berdasarkan konsumsi bahan bakar gas (*LNG*) pada sejumlah PLTMG yang ada di provinsi Kepri. Dari data tersebut, kemudian dibuat *layout* awal dan didapatkan *payload* 4000 m^3.

   Ukuran Utama *Dual Fuel LNG Carrier* yang didesain yaitu:

   - Lpp (Panjang) = 96 m
   - B (Lebar) = 14 m
   - H (Tinggi) = 6 m
   - T (Sarat) = 3,5 m
2. Perhitungan teknis yang dilakukan telah memenuhi.
   - Perhitungan berat yang telah dilakukan menghasilkan margin berat sebesar 6,735 %. *Displacement* kapal adalah 3838 ton dan berat kapal (*LWT+DWT*) adalah 3596 ton, sehingga perhitungan berat **diterima**.
   - Sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan, kondisi trim buritan **diterima** karena selisih *LCG* dan *LCB* kurang dari 0.5 % dari Lpp kapal yaitu 0.48.
   - Perhitungan lambung timbul yang telah dilakukan menghasilkan batasan lambung timbul sebesar 947 mm, sedangkan lambung timbul kapal sebenarnya adalah 2500 mm. Sehingga perhitungan lambung timbul **diterima**.
   - Perhitungan stabilitas yang dilakukan menggunakan acuan regulasi dari *IMO IS Code* 2008. Hasil yang didapatkan semua parameter stabilitas telah **diterima**.
3. Berdasarkan Analisis Ekonomis yang dilakukan, didapatkan biaya investasi pembangunan *Dual Fuel LNG Carrier* sebesar Rp 162.302.693.118 dan estimasi keuntungan bersih perbulan dari penjualan *LNG* sebesar Rp 2.921.154.559.
4. Desain *Lines Plan* telah dibuat dan dilampirkan pada lampiran.
5. Desain *General Arrangement* telah dibuat dan dilampirkan pada lampiran.
6. Pemodelan 3D telah dibuat dan dilampirkan pada lampiran.

VII.2. Saran

Adapun beberapa saran yang diharapkan dapat memperbaiki kekurangan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya tinjauan lebih rinci terhadap aspek konstruksi dan kekuatan *Dual Fuel LNG Carrier*, mengingat pada Tugas Akhir ini masih banyak digunakan perhitungan secara pendekatan.
2. Perlu dibuat pemodelan 3D yang lebih presisi dan lebih mendetail terkait *fuel system configuration* maupun peralatan dan perlengkapan yang tersedia pada kapal.
3. Serta diharapkan adanya perhitungan & analisis ekonomis yang riil terhadap anggaran pembangunan *Dual Fuel LNG Carrier* sehingga kapal ini dapat direalisasikan dan dapat menjadi solusi dalam distribusi bahan bakar gas hingga ke pelosok Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Ariana, I. M. (2013). *Tinjauan Teknis Ekonomis Pemakaian Dual Fuel pada Tug Boat PT. Pelabuhan Indonesia II.* Surabaya: ITS.

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2017). *Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. Retrieved from Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika: http://www.bmkg.go.id

Biro Klasifikasi Indonesia. (2014). *BKI Rules Vol.II Rules for Hull.* Jakarta.

Biro Klasifikasi Indonesia. (2014). *BKI Vol.IX Rules for Ship Carrying Liquefied Gases in Bulk.* Jakarta.

Dirjen Migas. (2012). *Gas Alam di Indonesia.* Jakarta.

Exxon Corporation. (2004, November). *Energi LIPI*. Retrieved November 13, 2016, from Energi LIPI Web Site: http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?cetakartikel&1101090234

Google. (2017, May). *Google Maps*. Retrieved from Google Maps: http://www.maps.google.com

Health and Safety Executive of UK. (2016). *Health and Safety Executive of UK*. Retrieved from Health and Safety Executive of UK: http://www.hse.gov.uk/fireandexplosion/zoning.pdf

ICLL 1966. (1966). *ICLL 1966.* London.

International Gas Union. (2017). *International Gas Union*. Retrieved from International Gas Union: http://www.igu.org

International Maritima Organization. (1969). International Convention on Tonnage Meaurements of Ships. London: IMO.

International Maritime Organization (IMO). (Consolidated Edition 2009). *International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended (SOLAS 1974).* London: IMO Publishing.

International Maritime Organization. (1978). *MARPOL 73/78.* International Maritime Organization.

International Maritime Organization. (1993). *International Gas Code.* International Maritime Organization .

International Maritime Organization. (2008). *Intact Stability Code.* London.

Ivo Senjanovic. (2005). Structure Design of Cargo Tanks in Liquefied Gas Carriers.

Kurniawati, H.A. (2009). Lecture Handout. *Ship Outfitting*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

Lewis, E. V. (1988). *PNA Vol.I.* New Jersey.

Lewis, E. V. (1988). *PNA Vol.II.* New Jersey: SNAME.

Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2016). *Kementrian ESDM RI*. Retrieved from Kementrian ESDM RI: http://www.esdm.go.id

Oil & Gas IQ. (2014). *Oil & Gas IQ Survey.*

Parsons, M. G. (2001). *Parametric Design.* Michigan.

PELINDO I. (2017). *PELINDO I*. Retrieved February 25, 2017, from PELINDO I: http://www.pelindo1.co.id

Perusahaan Listrik Negara. (2015, June). *Perusahaan Listrik Negara*. Retrieved from Perusahaan Listrik Negara: http://www.pln.go.id

PT. Badak NGL. (2016). *Laporan Umum PT. Badak NGL.* Bontang: PT. Badak NGL.

Rawson, K.J. and Tupper, E.C. (2001). *Basic Ship Theory* (5th ed., Vol. 1). Oxford: Butterworth-Heinemann.
Wartsila. (2016). *Wartsila*. Retrieved December 3, 2016, from Wartsila: http://www.wartsila.com
Watson, D. (1998). *Practical Ship Design* (Vol. 1). (R. Bhattacharyya, Ed.) Oxford: Elsevier.
Wikipedia. (2016, January). *Wikipedia*. Retrieved December 3, 2016, from Wikipedia: https://id.wikipedia.org/wiki/Gas_alam
Wikipedia. (2017, June). *Wikipedia*. Retrieved November 2, 2016, from Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/LNG_carrier
Wikipedia. (2017, June). *Wikipedia*. Retrieved November 14, 2016, from Wikipedia: https://id.wikipedia.org/wiki/Kepulauan_Riau

LAMPIRAN A
HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISIS TEKNIS

Coefficient Calculation

Input Data :

L_o =	96.0	m	L_o/B_o =	6.857	
H_o =	6.0	m	B_o/T_o =	4.000	
B_o =	14.0	m	T_o/H_o =	0.583	
T_o =	3.5	m	Vs =	6.137	m/s
Fn =	0.200		ρ =	1.025	kg/m^3

Calculation :

- **Froude Number Dasar**

$$Fn_o = \frac{Vs}{\sqrt{g.L}}$$

g = 9.81 m/s^2

=

= 0.200

- **Ratios of Dimensions**

L_o/B_o =	6.86	→	3.5 <= L/B <= 10
B_o/T_o =	4.00	→	1.8 <= B/T <= 5
L_o/T_o =	27.43	→	10 <= L/T <= 30

- **Block Coefficient (Watson & Gilfillan) :**

$Cb = -4.22 + 27.8\sqrt{Fn} - 39.1\,Fn + 46.6\,Fn^3$ → $0{,}15 \le Fn \le 0{,}32$

= 0.765

- **Midship Section Coefficient (Series 60)**

Cm = 0.977 + 0.085(Cb - 0.6)

= 0.991

- **Waterplane Coefficient (Tanker)**

Cwp = Cb/(0.471+0.551Cb)

= 0.857

- **Longitudinal Center of Buoyancy (LCB)**

a. LCB (%) =

= 1.483 % Lpp

d. LCB dari FP = 46.577 m dari FP

b. LCB dari M= (LCB (%))/100 Lpp

= 1.423 m dari M

c. LCB dari AP= $0.5 \cdot L_{PP} - LCB_M$

= 49.423 m dari AP

- **Prismatic Coefficient**

Cp = Cb/Cm

= 0.772

- **Lwl**

Lwl = 1.04 Lpp

= 99.840 m

- **∇ (m^3)**

∇ = Lpp*B*T*Cb

= 3600.455 m^3

3744.4736

- **Δ (ton)**

Δ = Lpp*B*T*Cb*γ

= 3690.467 ton

3838.0854

Resistance Calculation

[Holtrop & Mennen Method]

Input Data :

L_o =	96.00 m	Cb =	0.765
H_o =	6.00 m	Cm =	0.991
B_o =	14.00 m	Cwp =	0.857
T_o =	3.50 m	Cp =	0.772
Fn =	0.200		

Choice No.	C_{stern}	Used for
1	-25	Pram with Gondola
2	-10	V - Shaped Sections
3	0	Normal Section Shape
4	10	U - Shaped Sections with Hogner Stern

Calculation :

Viscous Resistance

Lwl = 104%.Lpp = 99.8 m

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{g.L}} = 0.200$$

- **C_{F0} (Friction Coefficient - ITTC 1957)**

$$R_n = L_{wl}.\frac{Vs}{v} \qquad v = 1.18831E\text{-}06$$

= 515,604,608.225

$$C_{F0} = \frac{0.075}{(\log Rn - 2)^2}$$

= 0.00166

- **Harga 1 + k_1**

$$1 + k_1 = 0{,}93 + 0{,}487c\left(\frac{B}{L}\right)^{1.0681}.\left(\frac{T}{L}\right)^{0.4611}.\left(\frac{L}{L_R}\right)^{0.1216}.\left(\frac{L^3}{\forall}\right).0{,}3649\,(1-C_p)^{-0.6042}$$

= 1.2203

c = 1 + 0.011 c_{stern} $\qquad c_{stern}$ = 0, karena bentuk Afterbody normal

= 1

$$\frac{L_R}{L} = 1 - C_P + \frac{0.06\,C_P.LCB}{(4C_P - 1)}$$

= 0.261

L^3 / ∇ = 245.729

Resistance of Appendages

- **Wetted Surface Area**

A_{BT} = cross sectional area of bulb in FP

= 10%.B.T.Cm

= 0 $\longrightarrow$ tanpa bulb

$$S = L(2T+B)C_M^{0.5}(0.4530 + 0.4425C_B - 0.2862C_M - 0.00367\frac{B}{T} + 0.3696C_{WP}) + 2.38\frac{A_{BT}}{C_B}$$

= 1627.780 m^2

$$S_{Rudder} = C_1 . C_2 . C_3 . C_4 . \frac{1.75 \;.\, L \;.\, T}{100}$$

= 5.880 m^2

$S_{Bilge\ Keel}$ = L_{Keel} . H_{Keel} . 4 $\qquad L_{Keel}$ = 0.6*Cb*L $\qquad H_{Keel}$ = 0.18 / (Cb - 0.2)

= 0.000 $\qquad$ = m $\qquad$ m

S_{app} = total wetted surface of appendages

= S_{Rudder} + $S_{Bilge\ Keel}$

= 5.880 m^2

S_{tot} = wetted surface of bare hull and appendages

= $S + S_{app}$

= 1633.660 m^2

- **Harga 1 + k2**

$(1+k_2)_{effective} = \dfrac{\sum S_i (1+k_2)i}{\sum s_i}$

= 1.5

Harga $(1+k_2)$ = 1.3 - 1.5 → rudder of single screw ship

= 1.5

$1 + k = 1 + k_1 + [1 + k_2 - (1 + k_1)]\dfrac{S_{app}}{S_{tot}}$

= 1.221

Wave Making Resistance

$C_1 = 2223105 C_4^{3.7861} \left(\dfrac{T}{B}\right)^{1.0796} (90 - i_E)^{-1.3757}$

= 1.048

C_4 = B/L → 0.11 ≤ B/L ≤ 0.25 B/L = 0.140

= 0.140

Even Keel → Ta = T

Tf = T

$i_E = 12567\dfrac{B}{L} - 16225 C_P^2 + 23432 C_p^3 + 0.1551\left(LCB + \dfrac{6.8(T_o - T)}{T}\right)^3$

= 29.997

- **Harga m_1**

$m_1 = 0.01404 \dfrac{L}{T} - 1.7525 \nabla^{\frac{1}{3}} / L - 4.7932 B / L - C_5$

= -1.778

C_5 = 1.7301 - 0.7067.Cp → $C_p \leq 0.8$

= 1.184

- **Harga m_2**

$m_2 = C_6 0.4 e^{-0.034 F_n^{-3.29}}$

$F_n^{-3.29}$ = 199.436

$e^{-0.034 F_n^{-3.29}}$ = 192.769

= -130.609

C_6 = -1.69385 L^3/∇ < 517 L^3/∇ = 245.729

- **Harga λ**

λ = 1.446 Cp - 0.03 L/B → L/B ≤ 12 6.8571429

= 0.911

- **Harga C_2**

C_2 = 1 → without bulb d = -0.9

- **Harga C_3**

A_T = 0

C_3 = 1 - 0.8 A_T / (B.T.C_M) A_T = the immersed area of the transom at zero speed

= 1 Saat V = 0 , Transom tidak tercelup air

- **Harga Rw/w**

$\dfrac{R_W}{W} = C_1 . C_2 . C_3 . e^{\{m_i . F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}}$

= 0.000

- **C_A (Correlation Allowance)**

C_A = 0.006 $(Lwl + 100)^{-0.16}$ - 0.00205 → Tf/Lwl ≥ 0.04 Tf/Lwl = 0.035

= 0.0005

- **W (gaya berat)**

$$W = \rho \cdot g \cdot \nabla$$

= 36203.479 N

- **R_{total}**

$$R_T = \frac{1}{2}\rho V^2 S_{tot}\left[C_F(1+k)+C_A\right]+\frac{R_W}{W}W$$

= 80520.935 N

= 80.521 kN

- **R_{total}+15%(margin)**

= 92.599 kN

Propulsion & Power Calculation

Input Data :

R_T =	92.599 kN	D =	2.275
P/D =	0.800	Z =	4
n (rpm) =	110	AE/AO =	0.4
n (rps) =	1.833	P_E (kW) =	568.262
Fn =	0.200	ρ =	1.025
C0.75R =		Rn propeler =	515604608.23

Calculation :

ω (Wake Friction)

$C_V = (1+k).C_{FO} + C_A$

= 0.00255

$\omega = 0{,}3\ C_B + 10\ C_V.C_B - 0{,}1$ → t = 0,1 dan η_R = 0,98

= 0.149

Propulsive Coefficient (ηD)

$J = \frac{V_A}{nD}$ = 1.252

$\omega_F = \frac{V - V_A}{V_A}$ = 0.175

$V_A = V\ (1-\omega)$ = 5.221

$\eta_0 = \frac{J}{2\pi} \cdot \frac{K_T}{K_Q}$

= 0.5 → berdasarkan pengalaman

$\eta_H = \frac{1 - t}{1 - \omega}$

= 1.058

η_R = 0.980 → Principles of Naval Architecture Vol.II hlm.163

$\eta_D = \frac{P_E}{P_D}$ = 0.518

$P_E = R_T.Vs$ = 568.262

$P_D = \frac{P_E}{\eta_H \eta_o \eta_r}$ = 1096.363

Perhitungan PB

$\eta_B\ \eta_S$ = 0.98 → Parametric Design Hlm. 31

η_t = 0.975

$P_B = \frac{P_E}{\eta_H \eta_o \eta_r \eta_s \eta_b \eta_t}$

= 1147.423

Koreksi

P_B + 15% (Margin) =	1319.537	kW
Total BHP =	1769.499	HP

Pemilihan Mesin Induk

Daya =	1408	kW
RPM =	1200	rpm
L =	3783	mm
W =	1824	mm
H =	2031	mm
Dry mass =	11.1	ton
SFRIng =	0.0001638	ton/kWh
SFRfuel =	5.4	g/kWh
SFRlub =	0.5	g/kWh

Pemilihan Genset

Daya =	455	kW	Fuel =	204	g/kWh
H =	2216	mm	Lub =	0.6	g/kWh
W =	1294	mm			
L =	4530	mm			
Dry mass =	9.800	ton			

Penentuan Mesin Utama

MCR Mesin					
BHP	=	1319.537	kW		
	=	1769.499	HP		
Mesin		Four - Stroke Engine			
Merk	=	Wartsila			
Type	=	8L20DF			
Daya Mesin					
Daya	=	1408	kW		
	=	1920	HP		
Konsumsi Fuel Oil		gas mode		diesel mode	
	=	5.40	g/kWh	198	g/kWh
	=	3.97	g/BHPh		
Konsumsi Gas					
	=	9090	kJ/kWh		
	=	0.000164	ton/kWh		
Konsumsi Lubricating Oil					
	=	0.5	g/kWh		
Pemilihan Mesin					
Cylinder bore x stroke	=				
rpm/min	=	1200	rpm		
Engine dry mass	=	11.1	ton		
j to btu			**m3 to ton**		
0.000947817			1.80191E-08	ton	
kJ to btu					
0.947817					
0.947817 btu to m3					
3.94292E-08	m3				

Ukuran Dimensional Mesin

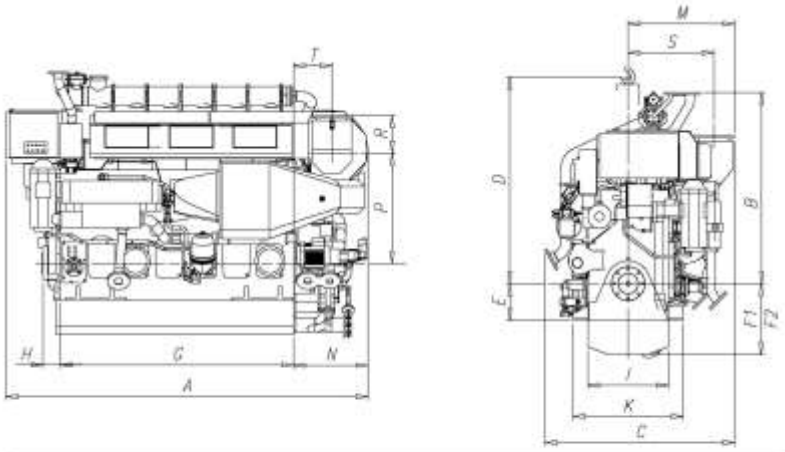


Fig 1-3 **Main engines (DAAF014777)**

Engine type	A	B	C	D	E	F1	F2	G	H
W 6L20DF	3108	1706	1690	1800	325	624	824	2080	155
W 8L20DF	3783	1706	1824	1800	325	624	824	2680	155
W 9L20DF	4075	1706	1824	1800	325	624	824	2980	155

F1 for dry sump and F2 for deep wet sump

Engine type	I	K	M	N	P	R	S	T	Weight
W 6L20DF	718	980	950	663	971	328	762	339	9.4
W 8L20DF	718	980	1084	738	1000	390	863	339	11.1
W 9L20DF	718	980	1084	731	1000	390	863	339	11.7

Spesifikasi Mesin

Maximum continuous output

Table 1-1 Rating table for Wärtsilä 20DF

Engine type	Main Engines		Generating sets			
	1200 rpm		1000 rpm		1200 rpm	
	kW	BHP	Engine [kW]	Generator [kVA]	Engine [kW]	Generator [kVA]
Wärtsilä 6L20DF	1056	1440	876	1050	1056	1270
	1110	1510	960	1150	1110	1330
Wärtsilä 8L20DF	1408	1920	1168	1400	1408	1690
	1480	2010	1280	1540	1480	1780
Wärtsilä 9L20DF	1584	2150	1314	1580	1584	1900
	1665	2260	1440	1730	1665	2000

Maximum continuous output

Table 1.2.3.1 Rating table for Wärtsilä Auxpac 16

1000 rpm / 50 Hz				1200 rpm / 60 Hz			
Type	Output [kWe]	Voltage [V]	Generator	Type	Output [kWe]	Voltage [V]	Generat-or
455W5L16	455	400	Leroy Somer	525W5L16	525	450	Leroy Somer
545W6L16	545	400	Leroy Somer	630W6L16	660	450	Leroy Somer
635W7L16	635	400	Leroy Somer	735W7L16	735	450	Leroy Somer

1.4 Principal dimensions and weights

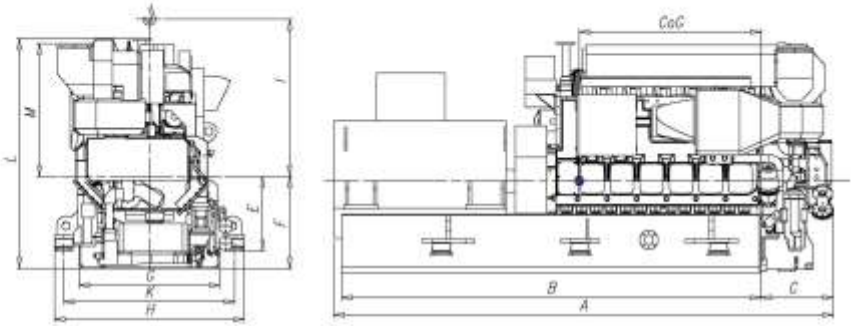


Fig 1.4.1 Wärtsilä Auxpac dimensions (DAAE026184e)

Table 1.4.1 Wärtsilä Auxpac 16, 1200 rpm / 60Hz

Type	A	B	C	E	F	G	H	I	K	L	M	CoG	Weight Wet	Weight Dry
525W5L16	4530	3700	535	692	745	804	1294	1471	1114	1955	1188		10.3	9.8
630W6L16	4787	3953	535	692	745	804	1294	1471	1114	1955	1188	1558	11.3	10.8
735W7L16	5060	4220	535	692	745	804	1294	1471	1114	1955	1188		12.3	11.8

Perhitungan Berat Permesinan

Input Data :

D =	2.275	m	P_D =	1096.36	kW	(Delivery Power at Propeller)
n =	110	rpm	P_B =	1147.42	kW	(Brake Horse Power)
Z =	4	buah	P =	455	kW	(Generator Set)
AE/AO =	0.40					

Perhitungan :

Main Engine

W_E = 11.1 ton

Propulsion Unit

- **Gear Box**

$W_{Gear} = (0.3 \sim 0.4).\frac{P_B}{n}$ *;diambil 0.4*

= 4.172 ton

- **Shafting**

Panjang poros (l) = 6 m

$M_s/l = 0.081 \left(\frac{P_D}{n}\right)^{\frac{2}{3}}$

= 0.375

$M_s = M_s/l \,.\, l$

= 2.251 ton

- **Propeller**

$d_s = 11.5 \left(\frac{P_D}{n}\right)^{\frac{1}{3}}$

= 24.749 cm = 0.247 m

$K \approx (d_s/D)(1.85A_E/A_O-(Z-2)/100)$

= 0.078

$W_{Prop} = D^3.K$

= 0.922 ton

- **Total**

$W_{T.Prop} = W_{Gear} + M_s + W_{Prop}$

= 7.346 ton

Electrical Unit

- W_{Agg} = 0,001 . P (15 + 0,014.P)

= 9.723 ton

Other Weight

- W_{ow} = (0,04-0,07)P_B *; diambil 0.07*

= 31.85 ton

- Total Machinery Weight = 60.019 ton

Titik Berat Machinery Plant

- h_{db} = B/15 h_{min} = 1000 mm

= 1.000 m ← 0.933 m *;diambil min*

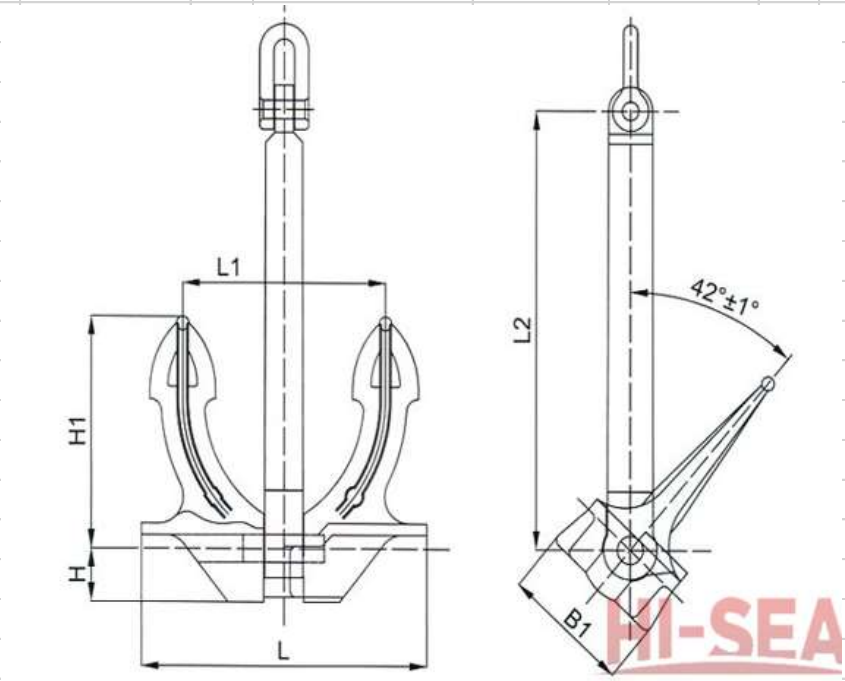
- $KG_m = h_{db} + 0.35(D' - h_{db})$

= 2.750 m

- L_{CB} = 4.20 m *;ceruk buritan*
- LCG_{mid} = -36.600 m
- **LCG dari FP = 84.600 m** titik berat mesin

Z	**=**	**Displ^2/3**	**+**	**2hB**	**+**	**0.1A**
Input						
Displ	=	**3838.085**	**ton**			
B	=	**14**	**m**			
h	=	**15**	**m**	(fb+hs)		
			fb	=	H-T	
				=	2.5	m
breadth >	3.5	m	hs	=	13	m
A	=	Lateral Area				
			L	H	A	
		Below main deck	103	2.5	**258**	
		Poop deck	23.8	2.5	**60**	
		Bulwark (1m)	8.5	1	**8.5**	
		Forecastle deck	7.2	2.5	**18**	
		A	15	2.5	**38**	
		B	12	2.5	**30**	
		C	9	2.5	**23**	
		Navigation	6	2.5	**15**	
				TOTAL	**449**	m2
Z	=	710.0		(660-720)		

STOCKLESS ANCHOR (Bower Only)				
Anchor				
Number	=	2	Units	
Weight per	=	2.1	ton	
Chain				
Total Length	=	440	m	
Diameter	=	46	mm	*Grade K 1*
		40	mm	*Grade K 2*
		36	mm	*Grade K 3*
Towline				
Length	=	190	m	
Br Load	=	405	kN	
Mooring Ropes				
Number	=	4	units	
Length	=	160	m	
Br Load	=	160	kN	



L	=	1470	mm	L2	=	2060	mm
L1	=	1040	mm	B1	=	640	mm
H	=	250	mm				
H1	=	1090	mm				

Table 18.2 - Anchor, Chain Cables and Ropes

No. for Reg.	Equipment numeral Z_1 or Z_2	Stockless anchor			Stud link chain cables						Recommended ropes				
		Bower anchor		Stream anchor	Bower anchors					Stream wire or chain for stream anchor		Towline		Mooring ropes		
		Number [1]	Mass per anchor		Total length	Diameter d_1	Diameter d_2	Diameter d_3		Length	Br. load [2]	Length	Br. load [2]	Number	Length	Br. load [2]
			[kg]		[m]	[mm]	[mm]	[mm]		[m]	[kN]	[m]	[kN]		[m]	[kN]
1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12	13	14	15	16
101	up to 50	2	120	40	165	12,5	12,5	12,5		80	65	180	100	3	80	35
102	50 - 70	2	180	60	220	14	12,5	12,5		80	65	180	100	3	80	35
103	70 - 90	2	240	80	220	16	14	14		85	75	180	100	3	100	40
104	90 - 110	2	300	100	247,5	17,5	16	16		85	80	180	100	3	110	40
105	110 - 130	2	360	120	247,5	19	17,5	17,5		90	90	180	100	3	110	45
106	130 - 150	2	420	140	275	20,5	17,5	17,5		90	100	180	100	3	120	50
107	150 - 175	2	480	165	275	22	19	19		90	110	180	100	3	120	55
108	175 - 205	2	570	190	302,5	24	20,5	20,5		90	120	180	110	3	120	60
109	205 - 240	2	660		302,5	26	22	20,5				180	130	4	120	65
110	240 - 280	2	780		330	28	24	22				180	150	4	120	70
111	280 - 320	2	900		357,5	30	26	24				180	175	4	140	80
112	320 - 360	2	1020		357,5	32	28	24				180	200	4	140	85
113	360 - 400	2	1140		385	34	30	26				180	225	4	140	95
114	400 - 450	2	1290		385	36	32	28				180	250	4	140	100
115	450 - 500	2	1440		412,5	38	34	30				180	275	4	140	110
116	500 - 550	2	1590		412,5	40	34	30				190	305	4	160	120
117	550 - 600	2	1740		440	42	36	32				190	340	4	160	130
118	600 - 660	2	1920		440	44	38	34				190	370	4	160	145
119	660 - 720	2	2100		440	46	40	36				190	405	4	160	160
120	720 - 780	2	2280		467,5	48	42	36				190	440	4	170	170
121	780 - 840	2	2460		467,5	50	44	38				190	480	4	170	185
122	840 - 910	2	2640		467,5	52	46	40				190	520	4	170	200
123	910 - 980	2	2850		495	54	48	42				190	560	4	170	215
124	980 - 1060	2	3060		495	56	50	44				200	600	4	180	230
125	1060 - 1140	2	3300		495	58	50	46				200	645	4	180	250
126	1140 - 1220	2	3540		522,5	60	52	46				200	690	4	180	270
127	1220 - 1300	2	3780		522,5	62	54	48				200	740	4	180	285
128	1300 - 1390	2	4050		522,5	64	56	50				200	785	4	180	305
129	1390 - 1480	2	4320		550	66	58	50				200	835	4	180	325
130	1480 - 1570	2	4590		550	68	60	52				220	890	5	190	325
131	1570 - 1670	2	4890		550	70	62	54				220	940	5	190	335
132	1670 - 1790	2	5250		577,5	73	64	56				220	1025	5	190	350
133	1790 - 1930	2	5610		577,5	76	66	58				220	1110	5	190	375
134	1930 - 2080	2	6000		577,5	78	68	60				220	1170	5	190	400
135	2080 - 2230	2	6450		605	81	70	62				240	1260	5	200	425
136	2230 - 2380	2	6900		605	84	73	64				240	1355	5	200	450
137	2380 - 2530	2	7350		605	87	76	66				240	1455	5	200	480
138	2530 - 2700	2	7800		632,5	90	78	68				260	1470	6	200	480
139	2700 - 2870	2	8300		632,5	92	81	70				260	1470	6	200	490
140	2870 - 3040	2	8700		632,5	95	84	73				260	1470	6	200	500
141	3040 - 3210	2	9300		660	97	84	76				280	1470	6	200	520
142	3210 - 3400	2	9900		660	100	87	78				280	1470	6	200	555
143	3400 - 3600	2	10500		660	102	90	78				280	1470	6	200	590
144	3600 - 3800	2	11100		687,5	105	92	81				300	1470	6	200	620
145	3800 - 4000	2	11700		687,5	107	95	84				300	1470	6	200	650
146	4000 - 4200	2	12300		687,5	111	97	87				300	1470	7	200	650
147	4200 - 4400	2	12900		715	114	100	87				300	1470	7	200	660
148	4400 - 4600	2	13500		715	117	102	90				300	1470	7	200	670
149	4600 - 4800	2	14100		715	120	105	92				300	1470	7	200	680
150	4800 - 5000	2	14700		742,5	122	107	95				300	1470	7	200	685
151	5000 - 5200	2	15400		742,5	124	111	97				300	1470	8	200	685
152	5200 - 5500	2	16100		742,5	127	111	97				300	1470	8	200	695
153	5500 - 5800	2	16900		742,5	130	114	100				300	1470	8	200	705
154	5800 - 6100	2	17800		742,5	132	117	102				300	1470	9	200	705
155	6100 - 6500	2	18800		742,5		120	107				300	1470	9	200	715
156	6500 - 6900	2	20000		770		124	111				300	1470	9	200	725
157	6900 - 7400	2	21500		770		127	114				300	1470	10	200	725
158	7400 - 7900	2	23000		770		132	117				300	1470	11	200	725
159	7900 - 8400	2	24500		770		137	122				300	1470	11	200	735
160	8400 - 8900	2	26000		770		142	127				300	1470	12	200	735
161	8900 - 9400	2	27500		770		147	132				300	1470	13	200	735
162	9400 - 10000	2	29000		770		152	132				300	1470	14	200	735
163	10000 - 10700	2	31000		770			137				300	1470	15	200	735
164	10700 - 11500	2	33000		770			142				300	1470	16	200	735
165	11500 - 12400	2	35500		770			147				300	1470	17	200	735
166	12400 - 13400	2	38500		770			152				300	1470	18	200	735
167	13400 - 14600	2	42000		770			157				300	1470	19	200	735
168	14600 - 16000	2	46000		770			162				300	1470	21	200	735

d_1 = Chain diameter Grade K 1 (Ordinary quality)
d_2 = Chain diameter Grade K 2 (Special quality)
d_3 = Chain diameter Grade K 3 (Extra special quality)
} See also D

[1] see C.1.
[2] see F.1.2

JIS Stockless Anchor Specification

Nominal Weight (KG)	Size(mm)					
	L	L1	L2	H	H1	H2
180	650	459	910	111	480	280
240	720	510	1010	122	530	310
300	770	540	1080	131	570	331
360	820	580	1150	139	610	353
420	860	610	1200	146	640	370
480	900	640	1260	153	670	387
570	950	670	1330	162	700	408
660	1000	710	1440	170	740	430
780	1060	750	180	180	780	458
900	1110	780	1550	189	820	477
1020	1160	820	1620	197	860	500
1140	1200	850	1680	204	890	520
1290	1250	880	1750	212	920	540
1440	1300	920	1820	221	960	560
1590	1340	950	1880	228	990	580
1740	1380	980	1930	235	1020	600
1920	1430	1010	2000	243	1060	620
2100	1470	1040	2060	250	1090	640
2280	1510	1070	2110	257	1120	650
2460	1550	1100	2170	264	1150	670
2640	1590	1120	2230	270	1180	690

Sumber : JIS Stockless Anchor

http://www.hiseamarine.com/jis-stockless-anchor-139.html

Steel Weight Calculation

No	Type kapal	CSO
1	Bulk carriers	0.070
2	Cargo ship (1 deck)	0.070
3	Cargo ship (2 decks)	0.076
4	Cargo ship (3 decks)	0.082
5	Passenger ship	0.058
6	Product carriers	0.0664
7	Reefers	0.0609
8	Rescue vessel	0.0232
9	Support vessels	0.0974
10	Tanker	0.0752
11	Train ferries	0.650
12	Tugs	0.0892
13	VLCC	0.0645

Koefisien titik berat	
Type kapal	CKG
Passanger ship	0.67 – 0.72
Large cargo ship	0.58 – 0.64
Small cargo ship	0.60 – 0.80
Bulk carrier	0.55 – 0.58
Tankers	0.52 – 0.54

Input Data :

L_o = 96.000 m

H_o = 6.000 m

B_o = 14.000 m

T_o = 3.500 m

Fn = 0.200

Calculation :

Volume Superstructure

- **Volume Forecastle**

panjang (L_f) = 12 jarak gading

= 7.20 m

lebar (B_f) = selebar kapal

= 14.00 m

tinggi (h_f) = asumsi

= 2.5 m

$V_{Forecastle}$ = $0,5.L_f.B_f.h_f$

= 126.00 m^3

- **Volume Poop**

panjang (L_{poop}) = 28 jarak gading

= 16.8 m

lebar (B_{poop}) = selebar kapal

= 14.000 m

tinggi (h_{poop}) =

= 2.5 m

V_{poop} = $L_{poop}.B_{poop}.h_{poop}$

= 588 m^3

- **Volume Total**

V_A = $V_{Forecastle}$ + V_{Poop}

= 714.00 m^3

Volume Deckhouse

- **Volume Deckhouse I**

panjang ($L_{D\,I}$) = 25 jarak gading
= 15.0 m
lebar ($B_{D\,I}$) =
= 12.0 m
tinggi ($h_{D\,I}$) =
= 2.5 m
$V_{DH\cdot layer\,I}$ = $L_{D\,I}.B_{D\,I}.h_{D\,I}$
= 450.000 m^3

- **Volume Deckhouse II**

panjang ($L_{D\,II}$) = 20 jarak gading
= 12.0 m
lebar ($B_{D\,II}$) =
= 12.0 m
tinggi ($h_{D\,II}$) =
= 2.5 m
$V_{DH\cdot layer\,II}$ = $L_{D\,II}.B_{D\,II}.h_{D\,II}$
= 360 m^3

- **Volume Deckhouse III**

panjang (L_{WH}) = 15 jarak gading
= 9.0 m
lebar (B_{WH}) =
= 12.0 m
tinggi (h_{WH}) =
= 2.5 m
$V_{DH\cdot wheel\,house}$ = $L_{WH}.B_{WH}.h_{WH}$
= 270 m^3

- **Volume Wheelhouse**

panjang (L_{WH}) = 10 jarak gading
= 6.0 m
lebar (B_{WH}) =
= 9.0 m
tinggi (h_{WH}) =
= 2.5 m
$V_{DH\cdot wheel\,house}$ = $L_{WH}.B_{WH}.h_{WH}$
= 135 m^3

- **Volume Total**

V_{DH} = $V_{DH.I} + V_{DH.II} + V_{DH.III} + V_{DH\cdot wheel\,house}$
= 1215.00 m^3

Steel Weight

- D_A = tinggi kapal setelah dikoreksi dengan superstructure dan deckhouse
= $H + (V_A+V_{DH})/(Lpp*B)$
= 7.435267857 m
- C_{SO} = tanker
= 0.0752 t/m^3
- Δ_{kapal} = 3838 ton
- U = $\log\left(\frac{\Delta}{100}\right)$
= 1.584
- $C_S = C_{SO} + 0.06 \cdot e^{-(0,5U + 0,1U^{2,45})}$
= 0.112 t/m^3
- W_{ST} = $Lpp.B.D_A.C_S$
= 1121.22 ton

Center Gravity of Steel

Input Data :

L_{PP} =	96.000	m
B =	14.000	m
H =	6.000	m
∇_{A} Superstructure =	714.00	m^3
∇_{DH} Deckhouse =	1215.000	m^3
LCB (%) =	1.483	%

Perhitungan :

KG

C_{KG} = 0.54 → koefisien titik berat

KG = $C_{KG} . D_A$ = $C_{KG} . D + \frac{\nabla_A + \nabla_{DH}}{L_{PP} . B}$

= 4.015 m

LCG dari midship

dalam %L = -0.15 + LCB%

= 1.333 %

dalam m = LCG(%)*L

= 1.279 m

Jarak dari AP = 49.279 m

LCG dari FP

LCG_{FP} =

= 46.721 m

Crew List

Ruang			Crew
Layer I			
	Able Seaman (AB)	=	2
	Pumpman	=	2
	Cadet	=	2
	Wiper	=	2
	Cook	=	1
	Steward	=	1
	Total	=	**10**
Layer II			
	Chief Cook	=	1
	Doctor	=	1
	Chief Steward	=	1
	Oiler	=	1
	Total	=	**4**
Layer III			
	First Engineer	=	1
	Second Engineer	=	1
	First Officer	=	1
	Second Officer	=	1
	Total	=	**4**
Layer IV			
	Captain	=	1
	Ch. Engineer	=	1
	Ch. Officer	=	1
	Total	=	**3**
	TOTAL	=	21

KM. 70 Tahun 1998 Tentang Persyaratan Minimum Pengawakan Kapal

Kamar	=	**5.5 m2**	***seafarer***
		8.5 m2	***ship's officer***

MLC by ILO year 2006

Consumable and Crew Calculation

Chapter 11 Parametric Design : Michael G. Parsons

Lecture of Ship Design and Ship Theory : Herald Poehls]

Input Data :

L =	96.000	m	Vs =	6.137	m/s	=	12	knot
B =	14.000	m	P_B =	1408	kW			
H =	6.000	m		1920	HP			
T =	3.500	m						

Perhitungan :

Consumable :

- **Crew =** 21 orang

- **Crew Weight**

$C_{C\&E}$ = 0.17 ton/person

$W_{C\&E}$ = 3.570 ton

- **Fuel Oil (LNG)**

SFR =	0.000164	ton/kWh	; dari katalog mesin	Density =	0.457	ton/m3
MCR =	1408	kW				
Margin =	0.1		[1+(5% ~ 10%)].WFO			
W_{FO}= SFR * MCR * S/Vs*margin						
=	18.578	ton				
V_{FO} =	42.278	m3	Vfo = (Wfo + 4%.Wfo)/∏			

- **Fuel Oil (MDF)**

SFR =	0.000005	ton/kWh	; dari katalog mesin	SFR =	198	g/kWh	MCR =	1584 kW
MCR =	1408	kW		=	0.000198	ton/kWh	Density =	0.890 ton/m3
Margin =	0.1		[1+(5% ~ 10%)].WFO	Margin =	0.1			
W_{FO}= SFR * MCR * S/Vs*margin				W =	5.43	ton		
=	0.612	ton		V =	6.35	m3		
V_{FO} =	0.716	m3	Vfo = (Wfo + 4%.Wfo)/∏					

Wfo total = 6.046 ton

Vfo total = 7.07 m3

- **Genset Oil (MDF)**

SFR =	0.000204	ton/kWh	MCR =	455	kW	**TOTAL MDF =**	24.204 m3
W_{DO} =	7.477	ton					
V_{DO} =	17.139	m3	Vdo = (Wdo + 2%.Wdo)/∏				

- **Lubrication Oil (ME dan AE)**

W_{LO} =	0.193	ton	SFR =	0.0000017	ton/kWh	
V_{LO} =	0.223	m3	MCR =	1408	kW	Vlo = (Wlo + 4%.Wlo)/∏
			Margin =	0.1		∏ = 0.9

- **Fresh Water**

range =	878.8	mil laut			**Pendingin Mesin**			**ditambah proses loading unloading*
Vs =	12	knot			Cfw =	0.005	ton/BHP	
*day =	3.5		=	73.23 jam	Wfw=	9.6	ton	
W_{FW} =	0.17	ton/(person.day)			Vfw =	9.792	m3	
=	12.495	ton			Wfw total =	22.537	ton	*; koreksi 2%*
ρ_{FW} =	1	ton/m3						
V_{FW} =	12.745	m3			Vfw total =	22.537	m3	

- **Provision and Store**

W_{PR} =	0.01	ton/(person.day)
=	0.735	ton

Wconsumable = 59.136 ton

Perhitungan Titik Berat Consumable dan Crew

9.783

L_{KM} =	14.4	m
L_{CB} =	4.20	m
L_{CH} =	7.20	m
L_{CF} =	0.00	m

Kapal tanker ini terdapat 1 cofferdam yaitu :

Di antara cargo tank dan machinery room

	0	m
Lfo = Panjang tangki fuel oil = 14 kali jarak gading =	8.4	m

Dimensi ruang akomodasi

$L_{RM}=L_{pp} - (L_{CB} + L_{CH} + L_{KM} + L_{CF})$ = 70.200 m ;panjang ruang muat 70.200 3/4 ruang muat

• Poop

			DH I				DH II			
L_{poop} =	16.800	m		h_{I} =	2.5	m		h_{II} =	2.5	m
h_{poop} =	2.5	m		L_{I} =	15.000	m		L_{II} =	12.000	m
L_{CH} =	7.200	m								

Berat crew per layer

$W_{C\&E\ poop}$ =	0.170	ton
$W_{C\&E\ II}$ =	0.680	ton
$W_{C\&E\ III}$ =	0.170	ton
$W_{C\&E\ IV}$ =	0.170	ton

Titik berat crew

• KG

KG_{poop} =	$H+0,5*h_{poop}$ =	7.250	m
KG_{II} =	$H+h_{poop}+0,5*h_{II}$ =	9.750	m
KG_{III} =	$H+h_{poop}+h_{II}+0,5*h_{III}$ =	12.250	m
KG_{IV} =	$H+h_{poop}+h_{II}+h_{III}+0,5*h_{IV}$ =	13.500	m

• LCG

LCG_{poop} =	$0,5*L_{poop} + L_{RM} + L_{CH} + L_{CF}$ =	85.800	m
LCG_{II} =	$0,5*L_{II} + L_{RM} + L_{CH} + L_{CF}$ =	84.900	m
LCG_{III} =	$0,5*L_{III} + L_{RM} + L_{CH} + L_{CF}$ =	83.400	m
LCG_{IV} =	$0,5*L_{IV} + L_{RM} + L_{CH} + L_{CF}$ =	77.400	m

• Titik berat

$KG_{C\&E}$ =	10.286	m
$LCG_{C\&E}$ =	83.743	m

Titik berat FW

• Dimensi tangki

$t_{FW}=H-T$ =	2.500	m
B_{FW} =65%B=	9.100	m
$P_{FW}=V_{FW}/(t_{FW} * B_{FW})$=	0.560	m

• Titik berat

KG_{FW} =	5.750	m
LCG_{FW} =	93.900	m

Titik berat Lubrication Oil

• Dimensi tangki

$t_{LO} = h_{db}$ =	1.000	m
B_{LO}=50%B=	3.000	m
P_{LO} =	0.074	m

• Titik berat

KG_{LO} =	0.700	m
LCG_{LO} =	77.437	m

Titik berat LNGPac

• Dimensi tangki

$t_{LO} = h_{db}$ =	3.500	m
B_{LO}=50%B=	3.500	m
P_{LO} =	16.700	m

• Titik berat

KG_{LO} =	2.750	m
LCG_{LO} =	66.900	m

Titik berat MDF

• Dimensi tangki

$t_{DO} = h_{db}$ =	1.000	m
B_{DO}=65%B=	3.000	m
P_{DO} =	8.400	m

• Titik berat

KG_{DO} =	0.700	m
LCG_{DO} =	84.600	m

Titik berat Provision

• Dimensi tangki

t_{DO} =	2.500	m
B_{DO}=65%B=	2.300	m
P_{DO} =	7.930	m

• Titik berat

KG_{DO} =	8.250	m
LCG_{DO} =	96.360	m

Titik berat consumable

KG =	4.904	m
LCG dr FP=	79.758	m

Equipment and Outfitting Calculation

[Referensi : Ship Design Efficiency and Economy , 1998]

Input Data :

L =	96.0	m
B =	14.0	m
D =	6.0	m

Grup III (Accommodation)

The specific volumetric and unit area weights are:

For small and medium sized cargo ships :	160 – 170	kg/m2
For large cargo ships, large tankers, etc :	180 – 200	kg/m2
	160	kg/m^2

• POOP

L_{poop} =	16.800	m
B_{poop} =	14.000	m
A_{poop} =	235.200	m^2
W_{poop} =	37.632	ton

• FORECASTLE

$L_{forecasle}$ =	7.200	m
$B_{forecastle}$ =	14.000	m
$A_{forecastle}$ =	100.800	m^2
$W_{forecastle}$ =	16.128	ton

• DECKHOUSE

DH I

$L_{DH\ I}$ =	15.000	m
$B_{DH\ I}$ =	12.000	m
$A_{DH\ I}$ =	180.000	m^2
$W_{DH\ I}$ =	28.800	ton

DH II

$L_{DH\ II}$ =	12.000	m
$B_{DH\ II}$ =	12.000	m
$A_{DH\ II}$ =	144.000	m^2
$W_{DH\ II}$ =	23.040	ton

DH III

$L_{DH\ III}$ =	9.000	m
$B_{DH\ III}$ =	12.000	m
$A_{DH\ III}$ =	108.000	m^2
$W_{DH\ III}$ =	17.280	ton

Wheel House

L_{WH} =	6.000	m
B_{WH} =	9.000	m
A_{WH} =	54.000	m^2
W_{WH} =	8.640	ton

$W_{Group\ III}$ = 131.520 ton *; untuk persebaran E/O di deckhouse*

LNG Fuel Tank

23 ton

Cylindrical LNG Tank C

Wst =	1865	kN
=	186.5	ton

Wtank = 373.0 ton

Equipment and Outfitting Total Weight

= 527.5 [ton]

Outfit Weight Center Estimation

D_A = 7.435 m

$KG_{E\&O}$ = 1.02 -1.08D_A

= 7.807 m

1. LCG_1 (25% $W_{E\&O}$ at LCG_M)

$W_{E\&O\ KM}$ = 131.880 ton

L_{CB} = 4.200 m

LCG_{Mesin} dr FP = 85.400 m

$LCG_{M\ Mesin}$ = -37.400 m

L_{KM} = 12.800 m

DH I

$L_{DH\ I}$ = 15.000 m

$W_{DH\ I}$ = 28.800 ton

LCG_I = -0,5*Lpp+(L_{KM}+L_{CB})-0,5*$_{LDH\ II}$

= -38.500 m

DH II

$L_{DH\ II}$ = 12.000 m

$W_{DH\ II}$ = 23.040 ton

LCG_{II} = -37.000 m

DH III

$L_{DH\ III}$ = 9.000 m

$W_{DH\ III}$ = 17.280 ton

LCG_{III} = -35.500 m

Wheelhouse

L_{WH} = 6.000 m

W_{WH} = 8.640 ton

LCG_{IV} = -34.000 m

2. LCG_2 ($W_{E\&O}$ at LCG_{DH})

$W_{E\&O\ DH}$ = 11.480 ton

$LCG_{M\ DH}$ = -36.889 m

3. LCG_3 ($W_{E\&O}$ at midship)

$W_{E\&O\ Midship}$ = 11.480 ton

midship = 0 m

4. LNG Cylindrical Type C Tank No.1

$W_{E\&O\ Midship}$ = 186.500 ton

midship = 24.44 m

5. LNG Cylindrical Type C Tank No.2

$W_{E\&O\ Midship}$ = 186.500 ton

midship = -8.65 m

$LCG_{E\&O}$ (LCG di belakang midship)

= -4.570 m

$LCG_{E\&O}$ (dari FP)

= 52.570 m

Total Weight and Total Centers Estimation

1. Light Weight Tonnes (LWT) 50

- **Steel Weight**

$W_{ST=}$	1121.225	ton
$KG_{ST=}$	4.015	m
LCG_{ST} FP=	46.721	m

- **Equipment & Outfitting Weight**

$W_{E\&O=}$	527.520	ton
$KG_{E\&O=}$	7.807	m
$LCG_{E\&O}$ FP=	52.570	m

- **Machinery Weight**

$W_{M=}$	60.019	ton
$KG_{M=}$	2.750	m
LCG_{M} FP=	84.600	m

2. Dead Weight Tonnes (DWT)

- **Consumable Weight**

W_{consm}=	59.136	ton
KG_{consm}=	4.904	m
LCG_{consm} FP=	79.758	m

- **Payload**

$W_{payload}$=	1828	ton
$KG_{Payload}$=	6.55	m
$LCG_{Payload}$ FP=	41.500	m

Total Weight

Total weight= LWT + DWT=	3595.900	ton
KG Total=	5.853	m
LCG Total (FP)=	46.100	m

Total LWT =	**1708.763**	**ton**
Total DWT =	**1887.136**	**ton**

Displacement dan Berat Kapal

Input Data :

Lwl =	99.84 m	Cb=	0.765
B=	14 m	ɣ=	1.025 ton/m3
T=	3.5 m		

Displacement =	**3838.085**	**ton**
LWT + DWT =	**3596**	**ton**

Perhitungan :

Selisih Displacement & Berat Kapal =	242.19	ton
Selisih dalam % =	6.735%	
Kondisi =	**Accepted**	(Batasan kondisi = 2 - 10%)

Trim

Chapter 11 Parametric Design , Michael G. Parsons

Input Data

L =	96.000	m	∇ =	3744.474	m^3
B =	14.000	m	KG =	5.853	m^3
T =	3.500	m	LCG dr FP =	46.100	m
Cm =	0.991		LCB dr FP=	46.577	m
Cb =	0.765				
Cwp =	0.857				

Hydrostatic Properties

KB = (KB/T) . T

KB/T = 0.90 – 0.30Cm – 0.1Cb

= 0.526

KB = 1.841 m

BM_T

C_{IT} = 0.1216 Cwp – 0.0410

= 0.0633

$I_T = C_I . Lpp . B^3$

= 16663.091 m^4

BM_T = *jarak antara titik tekan buoyancy terhadap titik metacenter secara melintang*

$BM_T = I_T / \nabla$

= 4.450 m

BM_L

C_{IL} = *longitudinal inertia coefficient*

$C_{IL} = 0.350\ Cwp^2 - 0.405\ Cwp + 0.146$

= 0.0560

I_L = *moment of inertia of waterplane relative to ship's longitudinal axis*

$I_L = C_{IL} . B . Lpp^3$

= 694173.727

BM_L = *jarak antara titik tekan buoyancy terhadap titik metacenter secara memanjang*

$BM_L = I_L / \nabla$

= 185.386 m

GM_L = BM_L + KB - KG

= 181.374 m

Trim = $T_A - T_F$

Trim = (LCG – LCB).Lpp / GM_L

= -0.252 **m**

Kondisi trim= **Trim Haluan** *(karena jika nilai trim < 0 maka trim haluan; trim > 0* maka trim buritan; trim = 0 maka even keel)

Batasan Trim

LCG - LCB = -0.476 m

0.5%Lpp = 0.480 m

Kondisi Total = Passed (karena selisih LCG & LCB < 0.5% Lpp)

Freeboard Calculation

International Convention on Load Lines, 1966 and Protocol of 1988

Input Data :

L =	100.18	m	l_{Poop} =	16.80	m
B =	14.0	m	l_{FC} =	7.20	m
D =	6.0	m	S =	$l_{Poop} + l_{FC}$	
d_1=	85% Moulded Depth		=	24.00	m
=	5.100	m			
C_B =	0.503	$\nabla/(L \cdot B \cdot d)$			
Tipe kapal=	Type A				

L : length
⇒ 96% Lwl pada 0.85D
⇒ Lpp pada 0.85D
} diambil yang terbesar

(100.18 m > 96 m)

Perhitungan :

- **Freeboard Standard**

Fb = 1137.8 mm

L_1 (m)	⇨	F_b (mm)
100	⇨	1135 mm
102	⇨	1166 mm

Interpolasi :

100.18	⇨	1137.79 mm
	⇨	1.138 m

1. Koreksi *Depth* (D)

Untuk kapal dengan harga D > L/15 maka dikoreksi sebagai berikut :

L/15 =	6.7	m	(D= 6 m)	*untuk L < 120m ; R = L/0.48*
Fb_3 =	R(D-L/15)	[mm]		*untuk L > 120m ; R = 250*
R =	L/0.48		(untuk L<120m)	
=	208.708	m		

Fb_3 = 1137.8 mm *jika, D < L/15 ; Tidak ada pengurangan*

2. Koreksi Bangunan Atas *(Super Structure)*

Forecastle

l_{FC} =	7.20	m
hs_{FC} =	2.05	m
h_{FC} =	2.5	m
ls_{FC} =	7.20	m

Poop

l_{poop} =	16.80	m
hs_{poop} =	2.05	m
h_{poop} =	2.5	m
ls_{poop} =	16.80	m

Effective Length Super Structure

E =	$ls_{FC} + ls_{Poop}$		0.2	14%
=	24.00	m	0.3	21%
E[x.L] =	0.24			
%Fb =	16.77%		16.77%	

Superstructure

Fb_4 = -190.805 mm *; pengurangan*

Total Freeboard

Fb' =	$Fb_3 + (Fb_4)$	
=	947	mm
Fb' =	**0.947**	**m**

- **Batasan Freeboard**

Actual Freeboard

Fba= H-T

= 2.500 m

Kondisi (Fba - Fb')= Accepted *(karena Fba > Fb' maka Accepted)*

Tonnage Measurement

Input Data :

H =	6.000	m
T =	3.500	m
V_{poop} =	588.000	m^3
$V_{forecastle}$ =	126.000	m^3
$V_{deckhouse}$ =	1215.000	m^3
$V_{rm\ atas}$ =	4144.470	m^3
Z_C =	21.000	orang
N_1 =	2	*(Asumsi penumpang dalam kabin 2 orang (tidak boleh lebih dari 8 penumpang))*
N_2 =	19	*(jumlah penumpang yang lain)*
∇ =	3744.474	m^3
Δ =	3838.085	ton

Perhitungan :

Gross Tonnage

V_U = *Volume dibawah geladak cuaca*

= 6724.84 m^3 *;maxsurf*

V_H = *Volume ruang tertutup diatas geladak cuaca*

= 6073.47 m^3

V = 12798.31 m^3

K_1 = 0.2+0.02*Log10(V)

= 0.28

GT= 3610.95

Net Tonnage

V_C = 7251.448 m^3

K_2 = 0.2 + 0.02 * Log 10 (Vc)

= 0.277

K_3 = 1.25*[(GT+10000)/10000] =

= 1.701

a = $K_2 * V_C * (4d/3D)^2$

= 1216.025

0.25 GT = 902.73856

NT = a + K_3*(N_1 + N_2 / 10)

= 1222.660

0.30 GT = 1083.2863

LAMPIRAN B
HASIL PERHITUNGAN DAN ANALISIS EKONOMIS

No	Item	Value	Unit
1	**Lambung Kapal (*hull*)**		
	(tebal pelat lambung = 12 mm, jenis material = baja)		
	Sumber: Krakatau Steel (Persero) Historical Price, per 1 Januari 2016 (http://www.krakatausteel.com/?page=viewnews&action=view&id=1890)		
	Harga	674.51	USD/ton
	Berat hull	689.84	ton
	Harga Lambung Kapal (*hull*)	465303.98	USD
2	**Geladak Kapal (*deck*)**		
	(tebal pelat geladak = 8 mm, jenis material = baja)		
	Sumber: Krakatau Steel (Persero) Historical Price, per 1 Januari 2016 (http://www.krakatausteel.com/?page=viewnews&action=view&id=1890)		
	Harga	674.51	USD/ton
	Berat geladak	262.14	ton
	Harga Lambung Kapal (deck)	176815.51	USD
3	**Konstruksi Lambung**		
	Sumber: Krakatau Steel (Persero) Historical Price, per 1 Januari 2016 (http://www.krakatausteel.com/?page=viewnews&action=view&id=1890)		
	Harga	674.51	USD/ton
	Berat konstruksi	206.952	ton
	Harga Konsruksi Lambung	139591.2	USD
4	**Elektroda**		
	(diasumsikan 10% dari berat baja kapal)		
	Sumber: Nekko Steel - Aneka Maju.com		
	Harga	2526	USD/ton
	Berat baja kapal total (hull, deck, konst)	115.893	ton
	Harga Elektroda	292746	USD
	Total Harga Baja Kapal	**1074457**	**USD**

No	Item	Value	Unit
1	**Railing dan Tiang Penyangga**		
	(pipa aluminium d = 50 mm, t = 3 mm)		
	Sumber: www.metaldepot.com		
	Harga	35.00	USD/m
	Panjang railing dan tiang penyangga	400.00	m
	Harga Railing dan Tiang Penyangga	14,000	USD
2	**Manifold**		
	Sumber: www.alibaba.com		
	Harga	10,000	USD
	Jumlah	5	unit
	Total	50,000	USD
3	**Tangki LNG 2000 m3**		
	(panjang tangki = 30 m, Diamter = 9 m) asumsi $ 2500/m3		
	Sumber: International Gas Union		
	Harga	3,700,000	USD/Unit
	Jumlah	2	unit
	Total	7,400,000	USD
4	**Tangki Bahan Bakar LNG 50 m3**		
	(panjang tangki = 12,685 m, Diamter = 3 m)		
	Sumber: www.alibaba.com		
	Harga	15,000.0	USD/Unit
	Jumlah	1	unit
	Total	15,000	USD

4	**Crane**		
	Sumber: www.alibaba.com		
	Jumlah	3	unit
	Harga per unit	25,000	USD
	Harga total	75,000	USD
5	**Windlass**		
	Jumlah	3	unit
	Harga per unit	10,000	USD
	Harga windlass	30,000	USD
6	**Jangkar**		
	Jumlah	2	unit
	Harga per unit	12,500	USD
	Harga total	25,000	USD
7	**Peralatan Navigasi & Komunikasi**		
	a. Peralatan Navigasi		
	Radar	2,600	USD
	Kompas	60	USD
	GPS	850	USD
	Lampu Navigasi		
	- Masthead Light	9.8	USD
	- Anchor Light	8.9	USD
	- Starboard Light	12	USD
	- Portside Light	12	USD
	Simplified Voyage Data Recorder (S-VDR)	17,500	USD
	Automatic Identification System (AIS)	4,500	USD
	Telescope Binocular	60	USD
	Harga Peralatan Navigasi	**25,613**	
	b. Peralatan Komunikasi		
	Radiotelephone		
	Jumlah	1	Set
	Harga per set	172	USD
	Harga total	**172**	USD
	Digital Selective Calling (DSC)		
	Jumlah	1	Set
	Harga per set	186	USD
	Harga total	**186**	USD
	Navigational Telex (Navtex)		
	Jumlah	1	Set
	Harga per set	12,500	USD
	Harga total	**12,500**	USD
	EPIRB		
	Jumlah	1	Set
	Harga per set	110	USD
	Harga total	**110**	USD

	SART		
	Jumlah	2	Set
	Harga per set	450	USD
	Harga total	**900**	USD
	SSAS		
	Jumlah	1	Set
	Harga per set	19,500	USD
	Harga total	**19,500**	USD
	Prortable 2-way VHF Radiotelephone		
	Jumlah	2	Unit
	Harga per unit	87	USD
	Harga total	**174**	USD
	Harga Peralatan Komunikasi	**33,542**	USD
8	**Rescue Boat**		
	Jumlah	**1**	Unit
	Harga per unit	**10,000**	USD
	Harga total	**10,000**	USD
9	**Lifeboat**		
	Jumlah	**1**	Unit
	Harga per unit	**25,000**	USD
	Harga total	**25,000**	USD
10	**Lifejacket**		
	Jumlah	**25**	Unit
	Harga per unit	**30**	USD
	Harga total	**750**	USD
11	**Lifebuoy**		
	Jumlah	**10**	Unit
	Harga per unit	**10**	USD
	Harga total	**100**	USD
	Total Harga Equipment & Outfitting	**7704005**	**USD**

No	Item	Value	Unit
1	**Mesin Dual Fuel**		
	(Wartsila) sumber www.alibaba.com		
	Jumlah	1	unit
	Harga per unit	285,000	USD/unit
	Harga Inboard Motor	285,000	USD
2	**Komponen Kelistrikan**		
	Power Control Unit	1,000	USD
	ACOS	500	USD
	AC/DC Inverter	300	USD
	Saklar, kabel, dll	200	USD
	Harga Komponen Kelistrikan	2,000	USD
3	**Genset**		
	(2 unit Genset Wartsila Auxpac 16)		
	Jumlah Genset	2	unit
	Harga per unit	50000	USD/unit
	Harga Genset	100000	USD
5	**Propeller and Shaft**		
	Jumlah	1	unit
	Harga per unit	20000	USD
	Harga		USD
	Total Harga tenaga penggerak	**407000**	**USD**

	Biaya Pembangunan		
No	**Item**	**Value**	**Unit**
1	**Baja Kapal & Elektroda**	**1074457**	**USD**
2	**Equipment & Outfitting**	**7704005**	**USD**
3	**Tenaga Penggerak**	**407000**	**USD**
	Total Harga (USD)	**9185461**	**USD**
	Kurs Rp - USD (per 22 Juni 2017, BI)	**13386**	**Rp/USD**
	Total Harga (Rupiah)	**122,956,585,695.78**	**Rp**

Biaya Koreksi Keadaan Ekonomi dan Kebijakan Pemerintah

sumber: Tugas Akhir "Studi Perancangan Trash-Skimmer Boat Di Perairan Teluk Jakarta", 2012

No	Item	Value	Unit
1	**Keuntungan Galangan**		
	20% dari biaya pembangunan awal		
	Keuntungan Galangan	24,591,317,139.16	Rp
2	**Biaya Untuk Inflasi**		
	2% dari biaya pembangunan awal		
	Biaya Inflasi	2,459,131,713.92	Rp
3	**Biaya Pajak Pemerintah**		
	10% dari biaya pembangunan awal		
	Biaya Dukungan Pemerintah	12,295,658,569.58	Rp
	Total Biaya Koreksi Keadaan Ekonomi	**39,346,107,422.65**	**Rp**

=	Biaya Pembangunan + Profit Galangan + Biaya Inflasi + Bantuan Pemerintah
=	122,956,585,696 + 24,591,317,139 + 2,459,131,714 + 12,295,658,570
=	**Rp 162,302,693,118**
	$ 12,124,809

OUT COME

I. Biaya Investasi

Estimasi biaya pembangunan kapal : Rp 162,302,693,118

II. Gaji Pekerja (Sumber: www.seputarkapal.com)

No	Item	Person	monthly payment (Rp)/person	Annual payment (Rp)/person	monthly payment (Rp)	Annual payment (Rp)
1	Able Seaman (AB)	2	5,000,000.00	60,000,000.00	10,000,000.00	120,000,000.00
2	Pumpman	2	5,000,000.00	60,000,000.00	10,000,000.00	120,000,000.00
3	Oiler	1	5,000,000.00	60,000,000.00	5,000,000.00	60,000,000.00
4	Wiper	2	5,000,000.00	60,000,000.00	10,000,000.00	120,000,000.00
5	Electrician	1	5,000,000.00	60,000,000.00	5,000,000.00	60,000,000.00
6	Steward	1	5,000,000.00	60,000,000.00	5,000,000.00	60,000,000.00
7	Chief Steward	1	8,000,000.00	96,000,000.00	8,000,000.00	96,000,000.00
9	Chief Cook	1	8,000,000.00	96,000,000.00	8,000,000.00	96,000,000.00
10	Doctor	1	12,000,000.00	144,000,000.00	12,000,000.00	144,000,000.00
11	Engineer	2	20,000,000.00	240,000,000.00	40,000,000.00	480,000,000.00
12	Officer	2	20,000,000.00	240,000,000.00	40,000,000.00	480,000,000.00
13	Chief Engineer	1	27,000,000.00	324,000,000.00	27,000,000.00	324,000,000.00
14	Chief Officer	1	27,000,000.00	324,000,000.00	27,000,000.00	324,000,000.00
15	Captain	1	30,000,000.00	360,000,000.00	30,000,000.00	360,000,000.00
TOTAL				2,184,000,000.00	237,000,000.00	2,844,000,000.00
				TOTAL	**237,000,000.00**	**2,844,000,000.00**

III Biaya Pasokan LNG

Biaya Pasokan LNG		
Item	LNG	
Quantiy		2
Price (Rp)/m3	Rp	103,741.50
Production Quantity (m3/6days)		4,000
total price (Rp/day)	Rp	69,161,000.00
Production Quantity (m3/month)		20,000
Total Price (Rp/month)	Rp	2,074,830,000.00
Total Price (Rp/year)	Rp	24,897,960,000.00

Biaya Pasokan LNG perbulan Rp 2,074,830,000.00

Biaya Pasokan LNG perTahun Rp 24,897,960,000.00

IV BAHAN BAKAR (LNG dan Fuel oil)

Fuel Oil			
Kebutuhan Bahan Bakar		7.07	m3/trip (4 hari)
Harga bahan bakar	Rp	5,150,000	per/m3
Harga bahan bakar	Rp	9,096,418.04	per hari
Harga bahan bakar	Rp	272,892,541	per bulan
Harga bahan bakar	Rp	3,274,710,493.54	per tahun

DIESEL Oil			
Kebutuhan Bahan Bakar		17.14	m3/trip (4 hari)
Harga bahan bakar	Rp	5,150,000	per/m3
Harga bahan bakar	Rp	22,066,347.34	per hari
Harga bahan bakar	Rp	661,990,420	per bulan
Harga bahan bakar	Rp	7,943,885,041.23	per tahun

Bahan Bakar LNG			
Kebutuhan Bahan Bakar		42.28	m3/trip (4 hari)
Harga bahan bakar	Rp	103,230	per/m3
Harga bahan bakar	Rp	1,091,101.43	per hari
Harga bahan bakar	Rp	32,733,043	per bulan
Harga bahan bakar	Rp	392,796,515.05	per tahun

LUBRICATION Oil			
Kebutuhan Bahan Bakar		0.193	m3/trip (4 hari)
Harga bahan bakar	Rp	5,150,000	per/m3
Harga bahan bakar	Rp	248,256.31	per hari
Harga bahan bakar	Rp	7,447,689	per bulan
Harga bahan bakar	Rp	89,372,272.70	per tahun

Biaya Perawatan			
Diasumsikan 10% total dari building cost			
Total maintenance cost	Rp	8,115,134,656	per tahun
Total maintenance cost	Rp	676,261,221	per bulan

Total Out Come per tahun	=	Rp	47,557,858,978.45
Total Out Come per bulan	=	Rp	3,963,154,914.87

IN-COME

					Harga LNG per m3	Tarif per 6 hari	Tarif per bulan	Tarif per Tahun
Kebutuhan Bahan Bakar LNG untuk PLTMG di prov.Kepri				4000	m3	**Rp1,600,000**	Rp6,400,000,000	Rp32,000,000,000	Rp384,000,000,000
(6 Hari)									
Harga LNG/m3	Rp	103,741.50	(Japan March 2017)						
		1442%				Total In-Come =	Rp6,400,000,000	Rp32,000,000,000	Rp384,000,000,000
Harga LNG/mmbtu	Rp	70,945.80	(China May 2017 = $ 5.3)			Keuntungan Kotor/bulan =	Rp	28,036,845,085.13	
(1 m3 = 24 mmbtu)	**Rp**	**66,666.67**	**$**	**4.98**					

Operational Cost

Bank Mandiri

Cash Loan

Kredit Investasi

Kredit investasi adalah kredit jangka menengah/panjang yang diberikan kepada (calon) debitur untuk membiayai barang-barang modal dalam rangka rehabilitasi,modernisasi, perluasan ataupun pendirian proyek baru, misalnya untuk pembelian mesin-mesin, bangunan dan tanah untuk pabrik, yang pelunasannya dari hasil usaha dengan barang-barang modal yang dibiayai.

Ketentuan :

- Mempunyai Feasibility Study.
- Mempunyai izin-izin usaha, misalnya SIUP, TDP, dll.
- Maksimum jangka waktu kredit 15 tahun dan masa tenggang waktu (Grace Period) maksimum 4 tahun.
- Agunan utama adalah usaha yang dibiayai. Debitur menyerahkan agunan tambahan jika menurut penilaian Bank diperlukan.
- Maksimum pembiayaan bank 65% dan Self Financing (SF) 35%.

Bunga :

Suku bunga kredit 13,5 % *)

Pinjaman Bank		
Biaya	**Nilai**	**Unit**
Building Cost	162,302,693,118	Rp
Pinjaman dari Bank	65%	
Pinjaman	105,496,750,527	Rp
Bunga Bank	13.5%	Per tahun
Nilai Bunga Bank	14,242,061,321	Per tahun
Masa Pinjaman	5	Tahun
Pembayaran Cicilan Pinjaman	1	Per Tahun
Nilai Cicilan Pinjaman	35,341,411,427	Rp

Biaya Perawatan			
Diasumsikan 10% total dari building cost			
Total maintenance cost	Rp	16,230,269,312	per tahun

Asuransi			
Diasumsikan 2% total dari building cost			
Biaya asuransi	Rp	3,246,053,862	per tahun

Gaji Komplemen Kapal			
Jumlah komplemen kapal		19	
Gaji komplemen kapal per bulan	Rp	237,000,000	
Gaji komplemen kapal per tahun	Rp	2,844,000,000	

Pasokan LNG			
Biaya Pasokan LNG perbulan	Rp	2,064,600,000	
Biaya Pasokan LNG pertahun	Rp	24,775,200,000	

Fuel Oil			
Kebutuhan Bahan Bakar		24.20	m3/trip
Harga bahan bakar	Rp	5,150,000	per/m3
Harga bahan bakar	Rp	31,162,765.37	per hari
Harga bahan bakar	Rp	934,882,961	per bulan
Harga bahan bakar	Rp	11,218,595,534.77	per tahun

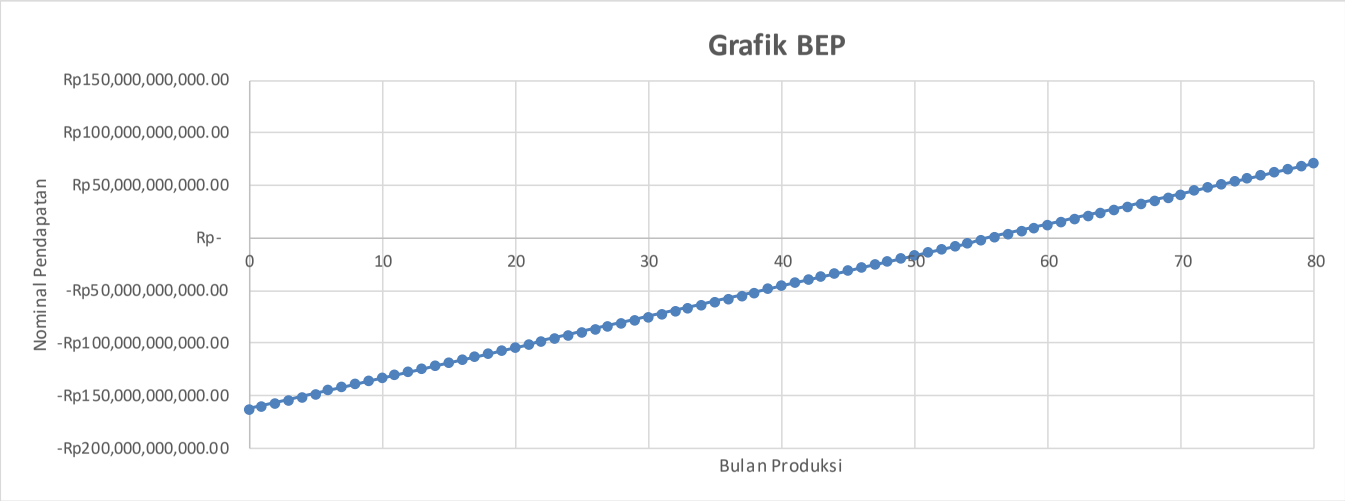
Bahan Bakar LNG			
Kebutuhan Bahan Bakar		42.28	m3/trip
Harga bahan bakar	Rp	103,230	per/m3
Harga bahan bakar	Rp	1,091,101.43	per hari
Harga bahan bakar	Rp	32,733,043	per bulan
Harga bahan bakar	Rp	392,796,515.05	per tahun

OPERATIONAL COST			
Biaya	**Nilai**		**Masa**
Cicilan Pinjaman	Rp	35,341,411,427	per tahun
Gaji Komplemen	Rp	2,844,000,000	per tahun
Biaya Perawatan	Rp	16,230,269,312	per tahun
Asuransi	Rp	3,246,053,862	per tahun
Pasokan LNG	Rp	24,775,200,000	per tahun
Fuel Oil	Rp	11,218,595,535	per tahun
Bahan Bakar LNG	Rp	392,796,515	per tahun
Total	Rp	94,048,326,651	per tahun

Item	Nominal	
Biaya Investasi	Rp	162,302,693,118.43
Modal Bank 65%	Rp	105,496,750,526.98
Hutang perbulan bunga 13.5%	Rp	237,367,688.69
Keuntungan kotor	Rp	28,036,845,085.13
Biaya Operasional (gaji)	Rp	237,000,000.00
Biaya perawatan	Rp	16,230,269,311.84
Biaya Takterduga 5 %	Rp	1,401,842,254.26
Pajak penghasilan Usaha 25%	Rp	7,009,211,271.28
Keuntungan Bersih	**Rp**	**2,921,154,559.06**

Bulan ke	Nominal		NPV	(Rp889,705,722,201.58)
0	-Rp	162,302,693,118.43		
1	-Rp	159,381,538,559.37		
2	-Rp	156,460,384,000.31		
3	-Rp	153,539,229,441.25		
4	-Rp	150,618,074,882.18		
5	-Rp	147,696,920,323.12		
6	-Rp	144,775,765,764.06		
7	-Rp	141,854,611,205.00		
8	-Rp	138,933,456,645.94		
9	-Rp	136,012,302,086.88		
10	-Rp	133,091,147,527.81		
11	-Rp	130,169,992,968.75		
12	-Rp	127,248,838,409.69		
13	-Rp	124,327,683,850.63		
14	-Rp	121,406,529,291.57		
15	-Rp	118,485,374,732.50		
16	-Rp	115,564,220,173.44		
17	-Rp	112,643,065,614.38		
18	-Rp	109,721,911,055.32		
19	-Rp	106,800,756,496.26		
20	-Rp	103,879,601,937.20		

21	-Rp	100,958,447,378.13
22	-Rp	98,037,292,819.07
23	-Rp	95,116,138,260.01
24	-Rp	92,194,983,700.95
25	-Rp	89,273,829,141.89
26	-Rp	86,352,674,582.82
27	-Rp	83,431,520,023.76
28	-Rp	80,510,365,464.70
29	-Rp	77,589,210,905.64
30	-Rp	74,668,056,346.58
31	-Rp	71,746,901,787.51
32	-Rp	68,825,747,228.45
33	-Rp	65,904,592,669.39
34	-Rp	62,983,438,110.33
35	-Rp	60,062,283,551.27
36	-Rp	57,141,128,992.21
37	-Rp	54,219,974,433.14
38	-Rp	51,298,819,874.08
39	-Rp	48,377,665,315.02
40	-Rp	45,456,510,755.96
41	-Rp	42,535,356,196.90
42	-Rp	39,614,201,637.83
43	-Rp	36,693,047,078.77
44	-Rp	33,771,892,519.71
45	-Rp	30,850,737,960.65
46	-Rp	27,929,583,401.59
47	-Rp	25,008,428,842.53
48	-Rp	22,087,274,283.46
49	-Rp	19,166,119,724.40
50	-Rp	16,244,965,165.34
51	-Rp	13,323,810,606.28
52	-Rp	10,402,656,047.22
53	-Rp	7,481,501,488.15
54	-Rp	4,560,346,929.09
55	-Rp	1,639,192,370.03
56	**Rp**	**1,281,962,189.03**
57	Rp	4,203,116,748.09
58	Rp	7,124,271,307.15
59	Rp	10,045,425,866.22
60	Rp	12,966,580,425.28



	Dual Fuel	VS	Konvensional	Unit
SFC	0.000005	X	0.000198	MDO ton/kWh
	0.000164	X	0	LNG ton/kWh
Price	5,150,000	X	5,150,000	MDO Rp/m3
	103,230	X	0	LNG Rp/m3
Total Volume per trip	0.593258427	X	23.49303371	MDO (m3)
	37.89584245	X	0	LNG (m3)
Total Price MDO	3,055,280.90	X	120,989,123.60	Rupiah
Total Price LNG	3,911,987.82	X	0	Rupiah
Total Price	**6,967,268.72**	**X**	**120,989,123.60**	Rupiah
Percentage	**94%**			

LAMPIRAN C
HASIL PEMODELAN *LINES PLAN*

TABLE OF HEIGHT ABOVE BASELINE

[illegible]

BODY PLAN

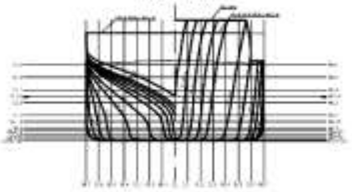


TABLE OF HALF-BREADTH

[illegible]

SHEER PLAN

HALF-BREADTH PLAN

PRINCIPAL DIMENSIONS	
Vessel Type	LNG Carrier
Length Overall	101 m
Length Between Perpendiculars	95.6 m
Breadth	14 m
Depth	8 m
Draught	5.5 m
Service Speed	12 knots
Complements	21 Persons
Main Engine Power	1800 HP

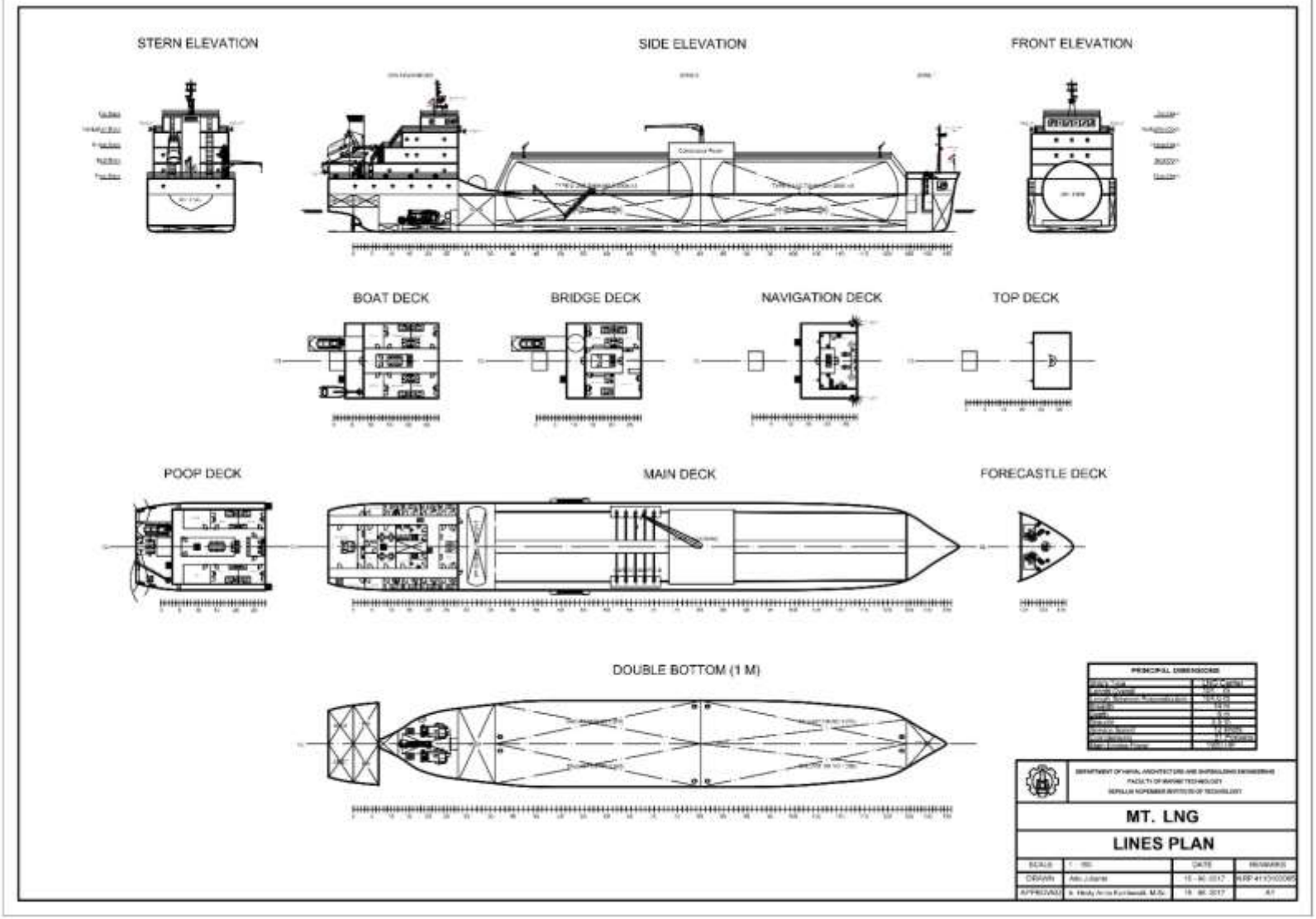
DEPARTMENT OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY

MT. LNG

LINES PLAN

SCALE	1 : 100	DATE	REMARKS
DRAWN	Ario Julianto	15 - 06 - 2011	NRP 4112100083
APPROVED	Ir. Hesty Anita Kurniawati, M.Sc.	15 - 06 - 2011	A1

LAMPIRAN D
HASIL PEMODELAN *GENERAL ARRANGEMENT*


STERN ELEVATION
SIDE ELEVATION
FRONT ELEVATION
BOAT DECK
BRIDGE DECK
NAVIGATION DECK
TOP DECK
POOP DECK
MAIN DECK
FORECASTLE DECK
DOUBLE BOTTOM (1 M)
PRINCIPAL DIMENSIONS
MT. LNG
LINES PLAN
SCALE
DATE
REMARKS
DRAWN
APPROVED

LAMPIRAN E
HASIL PEMODELAN 3 DIMENSI

DUAL FUEL LNG CARRIER 4.000 CBMS

BIODATA PENULIS

Arie Julianto, itulah nama lengkap penulis. Dilahirkan di Batam pada tanggal 3 Juli tahun 1995. Penulis merupakan anak ketiga dalam keluarga. Penulis menempuh pendidikan formal tingkat dasar pada SDS Djuwita Batam, kemudian melanjutkan ke SMPN 6 Batam dan SMAN 1 Batam. Setelah lulus SMA, Penulis diterima di Departemen Teknik Perkapalan FTK ITS melalui jalur SBMPTN tahun 2013.

Di Departemen Teknik Perkapalan ITS, Penulis mengambil Bidang Studi Rekayasa Perkapalan – Desain Kapal. Selama masa studi di ITS, selain kuliah Penulis juga pernah menjadi *staff* Departemen Hubungan Luar HIMATEKPAL 2013/2014 serta *staff* ahli dalam susunan kepanitiaan ITS EXPO tahun 2015. Selan itu, Penulis juga aktif dalam bermain musik dengan band *Geeks on Gig* baik di lingkungan kampus maupun di luar kampus.

Email: ariejulianto@rocketmail.com/julianto.arie@rocketmail.com